

**OPTIMALISASI RELAI OCR DAN GFR DI GARDU INDUK TELUK LEMBU
DALAM MEMINIMALISIR *SYMPATHETIC TRIP* PENYULANG 20 kV
(Studi Kasus: PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Mendapat Gelar Sarjana pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

TEGUH RAHAYU SLAMET

11655103644



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2020

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

**OPTIMALISASI RELAI OCR DAN GFR DI GARDU INDUK TELUK LEMBU
DALAM MEMINIMALIS SYMPATHETIC TRIP PENYULANG 20 KV
(Studi Kasus : PT.PLN (Persero) Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru)**

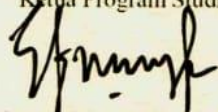
TUGAS AKHIR

Oleh :

TEGUH RAHAYU SLAMET
11655103644

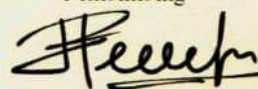
Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di pekanbaru, pada tanggal 31 Juli 2020

Ketua Program Studi



Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing



Dr. Liliana, S.T., M.Eng
NIP. 19781012200312 2 004

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMALISASI RELAI OCR DAN GFR DI GARDU INDUK TELUK LEMBU
DALAM MEMINIMALISIR SYMPATHETIC TRIP PENYULANG 20 KV
(Studi Kasus : PT.PLN (Persero) Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

TEGUH RAHAYU SLAMET

11655103644

Telah dipertahankan didepan sidang dewan penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 30 Juli 2020

Pekanbaru, 30 Juli 2020

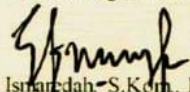
Mengesahkan,


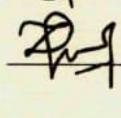
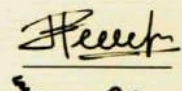
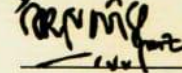


DEWAN PENGUJI :

Ketua : Jufrizel, S.T., M.T
Sekretaris : Dr. Liliana, S.T., M.Eng
Penguji I : Zulfatri Aini, S.T., M.T
Penguji II : Novi Gusnita, S.T., M.T

Ketua Program Studi


Ewi Ismahendah-S.Kom, M.Kom
NIP. 19730922 200912 2 002

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam Daftar Pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru,

Yang membuat pernyataan,



TEGUH RAHAYU SLAMET

11655103644

UIN SUSKA RIAU

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillaahirrohmaanirrohiim,

“Dan bagaimana kamu dapat sabar atas sesuatu yang belum mempunyai pengetahuan yang cukup tentang hal itu ?”(QS. Al-Kahfi : 68)

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa dan atas dukungan dan doa dari orang-orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat di selesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya rasakan dan terimakasih kasih saya kepada:

Tuhan yang Maha Esa,

Karena atas izin dan karunianya lah maka skripsi ini dapat dibuat dan diselesaikan pada waktunya. Puji syukur yang tak terhingga pada Tuhan penguasa alam yang meridhoi dan mengabulkan segala doa hambanya.

Ayah dan Ibunda Tercinta,

Beliaulah yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk kesuksesan saya, sebab tiada kata seindah lantunan doa dan tiada doa yang paling khusuk selain doa yang terucap dari kedua orang tua. Ucapan terimakasih takkan mampu untuk membalas semua kebaikan orang tua. Oleh karena itu terimalah persembahan bakti dan cintaku untuk kalian ayah dan ibuku.

Saudara (Kakak)

Merealah yang senantiasa memberikan dukungan semangat, senyum, dan doanya untuk keberhasilan saya. Kasih sayang dan cinta kalianlah yang selalu menjadi kobaran semangatku. Terimakasih dan sayangku untuk kalian.

Teman-Teman

Merealah yang selalu memberi saya semangat dan dukungan

Motto

Berfikirlah sebelum bertindak, jangan banyak berfikir untuk bertindak

OPTIMALISASI RELAI OCR DAN GFR DI GARDU INDUK TELUK LEMBU DALAM MEMINIMALISIR *SYMPATHETIC TRIP* PENYULANG 20 kV

(Studi Kasus: PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru)

TEGUH RAHAYU SLAMET
11655103644

Tanggal Sidang : 27 Juli 2020

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. HR. Soebrantas no.155 Panam, Pekanbaru

ABSTRAK

Suatu sistem tenaga listrik tidak terlepas dari berbagai macam gangguan, salah satunya gangguan hubung singkat. Untuk melindungi sistem dari gangguan diperlukan suatu peralatan proteksi berupa relai. Dalam bekerja, suatu relai dapat mengalami kesalahan respon yang disebut *sympathetic trip*. Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Teluk Lembu (GITL) pada transformator unit dua. Pada transformator unit dua telah diinterkoneksi dengan pembangkit tambahan sebelumnya, yang saat ini telah *off*. GITL telah berencana menginterkoneksi kembali pembangkit tambahan tersebut untuk menjaga pembebanan pada transformator unit dua. GITL telah mengalami kasus *sympathetic trip* sebanyak 5 kasus selama 18 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa *setting* relai saat ini dengan kurva *definite*, belum optimal dalam menangani masalah *sympathetic trip*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *setting* optimal relai arus lebih agar *sympathetic trip* tidak terjadi lagi. Metode yang ditawarkan adalah melakukan pengujian relai dengan variasi beban motor dengan statis. Dalam metode ini dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi sebelum dan setelah interkoneksi pembangkit tambahan. Hasil yang didapat, *setting* relai optimal yaitu TMS = 0,26, PS = 0,6086 dengan kurva *inverse*.

Kata Kunci : Optimalisasi, Aliran Daya, Hubung Singkat, Relai, *Sympathetic trip*.

OPTIMIZATION OF OCR AND GFR RELAYS IN TELUK LEMBU SUBSTATION TO MINIMIZING SYMPATHETIC TRIP 20 KV FEEDERS

(Case Study : PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru)

TEGUH RAHAYU SLAMET
11655103644

Date of Examination : July, 27st 2020

Electrical Engineering Departement

Faculty of Sains and Teknologi

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

St. HR. Soebrantas no.155 Panam, Pekanbaru

ABSTRACT

An electric power system is inseparable from a variety of disturbances, one of which is short circuit interference. To protect the system from interference needed a protective device in the form of a relay. At work, a relay can experience an error response called a sympathetic trip. This research was conducted at the Teluk Lembu Substation on unit two transformer. At unit transformer two has been interconnected with an additional generator before, which is currently off. The Teluk Lembu substation has planned to interconnect these additional plants to maintain the loading of the second unit transformer. The Teluk Lembu substation has experienced 5 cases of sympathetic trip in 18 months. This shows that the current relay settings with definite curves have not been optimal in handling the sympathetic trip problem. This study aims to obtain optimal settings for overcurrent relays so that sympathetic trips don't happen again. The method offered is to do a relay test with static motor load variations. In this method, it is carried out on two conditions, namely conditions before and after interconnection of additional generators. The results obtained, optimal relay settings are $TMS = 0.26$, $PS = 0.6086$ with inverse curves.

Kata Kunci : Optimization, Power Flow, Short Circuit, Relay, Sympathetic trip.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil' alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Optimalisasi Relai OCR Dan GFR Di Gardu Induk Teluk Lembu Dalam Meminimalisir *Sympathetic Trip* Penyulang 20 kV (Studi Kasus: PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru)”**. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan dari kita semua kepada Nabi Muhammad SAW. Semoga kita termasuk kedalam golongan orang-orang yang mendapat syafa'at beliau diakhir zaman kelak. Amin.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulusnya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Kedua Orang tua penulis, Bapak Komari dan Ibu Suprihatin yang senantiasa mendoakan penulis, membantu secara moril maupun materil.
2. Bapak Prof. Dr. H. Akhmad Mujahidin, S.Ag, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Dr.Ahmad Darmawi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom selaku Ketua Prodi Teknik Elektro dan sebagai Penasehat Akademik, yang selalu sabar dalam memberikan arahan serta nasehatnya selama kuliah.
5. Ibu Dr. Liliana, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan, motivasi, kritikan dan saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku dosen penguji 1 dan ibu Novi Gusnita selaku dosen penguji 2 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Bapak Ahmad Faizal ST., MT selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu memberi arahan prosedur dalam penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro yang tak ragu berbagi ilmu kepada penulis dari awal hingga akhir perkuliahan.

Bapak Anton Hidayat, Bapak Ramlon, Bang M. Syaiful serta Bang Arga dan seluruh karyawan/i di PT. PLN (Persero) UPT, UP2D dan GI Teluk Lembu Kota Pekanbaru yang telah banyak membantu peneliti dalam melengkapi kebutuhan data dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Kepada semua teman-teman dekat penulis baik itu teman kos dan teman satu jurusan teknik elektro UIN SUSKA RIAU.

Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang.

Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang. Amin.

Wassalamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh

Pekanbaru, 20 Juli 2020

Penulis



Teguh Rahayu Slamet

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR LAMBANG / NOTASI	xix
DAFTAR SINGKATAN	xx
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-7
1.3 Tujuan Masalah	I-7
1.4 Batasan Penulisan	I-8
1.5 Manfaat	I-8
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori	II-3
2.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik	II-3
2.2.2 Gardu Unduk	II-4
2.2.2.1 Transformator Gardu Induk	II-4
2.2.2.1.1 Bagian-Bagian Transformator	II-6
2.2.2.2 Gardu Induk Berdasarkan Jumlah Busbar	II-7
2.2.2.3 Pemutus Tenaga (PMT) Pada Gardu Induk	II-9

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3 Konduktor.....	II-11
2.4 Komponen Simetris.....	II-13
2.5 Gangguan Hubung Singkat.....	II-14
2.5.1 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	II-16
2.5.2 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah	II-17
2.5.3 Hubung Singkat Fasa ke Fasa	II-18
2.5.4 Hubung Singkat Tiga Fasa	II-19
2.6 Kontribusi Motor Terhadap Arus Gangguan.....	II-20
2.7 Reaktor Pembatas Arus	II-20
2.8 Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	II-21
2.8.1 Relai Arus Lebih.....	II-23
2.8.1.1 <i>Standar Inverse</i> (SI) atau <i>Normal Inverse</i> (NI)	II-25
2.8.1.2 <i>Very Inverse</i> (VI).....	II-26
2.8.1.3 <i>Extremely Inverse</i> (EI).....	II-26
2.8.1.4 <i>Definite Time</i> (DT)	II-27
2.8.1.5 <i>Instantaneous</i>	II-27
2.8.2 Proteksi Gangguan Tanah	II-28
2.9 ETAP <i>Power Station</i> 12.6.0	II-28
2.9.1 Simbol Komponen.....	II-29
2.9.2 Analisis Koordinasi Proteksi.....	II-30

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian	III-1
3.2 Lokasi Penelitian	III-1
3.3 Tahapan Penelitian.....	III-2
3.4 Studi Literatur.....	III-4
3.5 Prosedur Penelitian	III-4
3.6 Pengumpulan Data Sekunder	III-4
3.7 Tahap Validasi	III-13
3.8 Simulasi ETAP 12.6.0.....	III-14
3.8.1 <i>Input</i> Data Jaringan.....	III-14
3.8.2 Simulasi Kondisi Satu.....	III-18
3.8.2.1 Simulasi Aliran Daya	III-18

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.8.2.2 Simulasi Gangguan Hubung Singkat	III-19
3.8.2.3 Simulasi Kinerja Relai.....	III-20
3.8.3 Simulasi Kondisi Dua	III-21
3.8.3.1 Simulasi Aliran Daya	III-21
3.8.3.2 Simulasi Gangguan Hubung Singkat	III-21
3.8.3.3 Simulasi Kinerja Relai.....	III-22
3.9 Rekomendasi Solusi.....	III-23
3.9.1 Pemasangan Reaktor Pembatas Arus Hubung Singkat.....	III-23
3.9.2 Optimalisasi Relai.....	III-23
3.10 Hasil dan Analisa	III-24
3.11 Kesimpulan dan Saran.....	III-24
3.12 jadwal Penelitian.....	III-25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian	IV-1
4.1.1 Hasil Simulasi Kondisi Satu.....	IV-1
4.1.1.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Kondisi Satu.....	IV-1
4.1.1.2 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Satu.....	IV-2
4.1.1.3 Hasil Simulasi Kinerja Relai Kondisi Satu	IV-6
4.1.2 Hasil Simulasi Kondisi Dua	IV-11
4.1.2.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Kondisi Dua	IV-11
4.1.2.2 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Dua	IV-12
4.1.2.3 Hasil Simulasi Kinerja Relai Kondisi Dua.....	IV-15

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	Halaman
2.1 Jaringan Sistem Tenaga Listrik.....	II-4
2.2 Gardu Induk <i>single busbar</i>	II-7
2.3 Gardu Induk <i>Double Busbar</i>	II-8
2.4 Gardu Induk <i>Ring Busbar</i>	II-8
2.5 Gardu Induk Satu Setengah Busbar	II-9
2.6 Jenis Konduktor Listrik	II-12
2.7 Fasor Komponen Simetris	II-13
2.8 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	II-16
2.9 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.....	II-17
2.10 Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	II-18
2.11 Hubung Singkat Tiga Fasa	II-19
2.12 Blok Diagram Relai Proteksi	II-22
2.13 Diagram Relai Proteksi.....	II-23
2.14 Simbol <i>Grid</i>	II-29
2.15 Simbol Generator	II-29
2.16 Simbol Transformator	II-30
2.17 Simbol Kabel	II-30
2.18 Menu Gangguan Hubung Singkat.....	II-30
2.19 Menu Analisis Koordinasi Proteksi	II-31
3.1 Diagram Alur Penelitian.....	III-3
3.2 SLD GI Teluk Lembu	III-5
3.3 Spesifikasi Transformator	III-7
3.4 <i>Input Data Grid</i>	III-14
3.5 <i>Input Data Transformator</i>	III-15
3.6 <i>Input Data Generator</i>	III-15
3.7 <i>Input Data CT</i>	III-16
3.8 <i>Input Data Setting Relai</i>	III-16
3.9 <i>Input Data CB</i>	III-17
3.10 <i>Input Data Konduktor</i>	III-17
3.11 <i>Input Data Beban</i>	III-18
3.12 Menu Simulasi Aliran Daya	III-19

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.13	Menentukan Jenis Hubung Singkat Kondisi Satu.....	III-20
3.14	Menentukan Jenis Hubung Singkat Kondisi dua.....	III-22
3.15	Pemilihan Kurva Relai Arus Lebih.....	III-24
4.1	Perbandingan Kurva Sebelum dan Setelah <i>Setting</i> Optimal	IV-24



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR TABEL

TABEL	Halaman
2.1 Jenis Koneksi Belitan Transformator 3 Fasa.....	II-5
2.2 Faktor Pengali PMT	II-10
2.3 Data Ukuran dan Impedansi Penghantar	II-13
2.4 Nilai Faktor c	II-15
2.5 Persamaan Standar Amerika dan IEC	II-24
3.1 Data Hubung Singkat <i>Grid</i> 150 kV.....	III-6
3.2 Data Penyulang 20 kV.....	III-7
3.3 Data <i>Setting</i> Relai OCF/GFR GI Teluk LEMBU	III-8
3.3 Data <i>Setting</i> Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan).....	III-9
3.3 Data <i>Setting</i> Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan).....	III-10
3.3 Data <i>Setting</i> Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan).....	III-11
3.3 Data <i>Setting</i> Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan).....	III-12
3.4 Jadwal Penelitian.....	III-24
4.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Kondisi Satu	IV-1
4.2 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Satu	IV-2
4.2 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Satu (Lanjutan)	IV-3
4.2 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Satu (Lanjutan).....	IV-4
4.3 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Satu Dengan Variasi Beban	IV-6
4.3 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Satu Dengan Variasi Beban (Lanjutan).....	IV-7
4.3 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Satu Dengan Variasi Beban (Lanjutan).....	IV-8
4.3 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Satu Dengan Variasi Beban (Lanjutan).....	IV-9
4.4 Hasil Simulasi Aliran Daya Kondisi Dua.....	IV-11
4.5 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Dua	IV-12
4.5 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Dua (Lanjutan)	IV-13
4.5 Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi Dua (Lanjutan)	IV-14
4.6 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Dua Dengan Variasi Beban	IV-15
4.6 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Dua Dengan Variasi Beban (Lanjutan)	IV-16
4.6 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Dua Dengan Variasi Beban (Lanjutan)	IV-17
4.6 Kinerja Relai Eksisting Kondisi Dua Dengan Variasi Beban (Lanjutan)	IV-18
4.7 Perbandingan <i>Setting</i> awal dengan <i>Setting</i> Optimal Pada Kondisi Dua	IV-24

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.8 Rekap Setelah Pemasangan Reaktor	IV-26
4.9 Rekap Kinerja Relai Eksisting Dengan <i>Setting</i> Optimal.....	IV-27



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR RUMUS

RUMUS	Halaman
2.1 Arus Nominal Transformator	II-5
2.2 Kapasitas CB/PMT	II-10
2.3 Arus Urutan Komponen Simetris.....	II-13
2.4 Impedansi	II-14
2.5 Impedansi p.u.....	II-15
2.6 Impedansi dalam persen	II-15
2.7 Impedansi dasar transformator	II-15
2.8 Arus Gangguan Satu Fasa ke Tanah	II-16
2.9 Arus Gangguan Dua Fasa ke Tanah.....	II-17
2.10 Arus Gangguan Fasa ke Fasa.....	II-18
2.11 Arus Gangguan Tiga Fasa	II-19
2.12 Kapasitas Reaktor	II-20
2.13 Arus <i>Pickup</i> Relai	II-24
2.14 Waktu Standar <i>Inverse</i> (SI) atau <i>Normal Inverse</i>	II-25
2.15 Nilai TMS	II-25
2.16 Waktu <i>Very Inverse</i> (VI)	II-25
2.17 Waktu <i>Extremely Inverse</i> (EI)	II-26

DAFTAR LAMBANG / NOTASI

\angle	: Sudut
A	: Amper
I	: Arus
I_0	: Arus urutan nol
I_1	: Arus urutan positif
I_2	: Arus urutan negatif
I_{sca}	: Arus hubung singkat setelah pemasangan reaktor
I_{scb}	: Arus hubung singkat sebelum pemasangan reaktor
R	: Resistansi
R_0	: Resistansi urutan nol
R_1	: Resistansi urutan positif
R_2	: Resistansi urutan negatif
V	: Volt
X	: Reaktansi
X_0	: Reaktansi urutan nol
X_1	: Reaktansi urutan positif
X_2	: Reaktansi urutan negatif
Z	: Impedansi
Z_0	: Impedansi urutan nol
Z_1	: Impedansi urutan positif
Z_2	: Impedansi urutan negatif
α	: Alpha
Ω	: Ohm

DAFTAR SINGKATAN

ANSI	: <i>American national standard institute</i>
CB	: <i>Circuit breaker</i>
DT	: <i>Definite time</i>
EI	: <i>Exstremely inverse</i>
ETAP	: <i>Electrical transient and analaysis program</i>
GFR	: <i>Ground fault relay</i>
GI	: Gardu induk
GITL	: Gardu induk teluk lembu
IEC	: <i>International electrotechnical commission</i>
KHA	: Kemampuan hantar arus
OCR	: <i>Over current relay</i>
PMT	: Pemutus tenaga
SI	: <i>Standard inverse</i>
SLD	: <i>Single line diagram</i>
SPLN	: Standar perusahaan listrik negara
PS	: <i>Plug setting</i>
TMS	: <i>Time multiplier setting</i>
VI	: <i>Very inverse</i>

UIN SUSKA RIAU

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik sangat diperlukan dalam memenuhi kebutuhan masyarakat di berbagai sektor, meliputi perumahan, pemerintahan, perindustrian, transportasi dan fasilitas umum lainnya. Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, pemerintah melalui Perusahaan Listrik Negara (PLN) melakukan penyediaan dan pengembangan sistem tenaga listrik secara berkesinambungan. Hal itu dapat dilihat pada Rancangan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT.PLN (PERSERO) mengenai rasio elektrifikasi setiap Provinsi per tahunnya. Pemerintah telah menargetkan rasio elektrifikasi di Indonesia mencapai 100% pada tahun 2025. Untuk mewujudkan target tersebut, pengembangan infrastruktur sistem tenaga listrik dibagi menjadi beberapa regional. Regional tersebut diantaranya Regional Sumatera, Regional Kalimantan, Regional Sulawesi, Regional Jawa-Bali & NTT, serta Regional Maluku & Papua[1].

Provinsi Riau merupakan salah satu provinsi yang berada dalam pengawasan regional Sumatera. Ibu Kota Provinsi Riau adalah Pekanbaru, Pekanbaru merupakan kota terbesar di Riau dengan kebutuhan daya listrik rata-rata 305 MW[2]. Kebutuhan tenaga listrik di Kota Pekanbaru disuplai dari tiga jenis pembangkit, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG). Kapasitas masing-masing pembangkit adalah PLTMG Balai Pungut (100 MW), PLTMG/PLTG Teluk Lembu (180 MW) dan PLTU Tenayan (2x110 MW). Tenaga listrik tersebut disalurkan melalui lima gardu induk (GI), yaitu GI Garuda Sakti berkapasitas 240 MVA, GI New Garuda Sakti (60 MVA) , GI Tenayan Raya (30 MVA), GI Pasir Putih (120 MVA) dan GI Teluk Lembu (180 MVA)[3].

Gardu induk terbesar di Kota Pekanbaru adalah GI Garuda Sakti yaitu berkapasitas 240 MVA. GI Garuda Sakti melayani Kota Pekanbaru bagian barat, dengan suplai daya dari pembangkit Teluk Lembu. Pembangkit Teluk Lembu memiliki 3 unit pembangkit utama, yaitu 2 unit PLTG (2x60 MW) dan 1 unit PLTMG (60 MW). Pada pembangkit di Teluk Lembu memiliki enam unit transformator[3].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Keenam unit transformator tersebut terdiri dari tiga unit milik pembangkit dan tiga unit milik distribusi. Tiga unit transformator milik pembangkit berfungsi untuk menaikkan tegangan pembangkit 11 kV menjadi level tegangan transmisi 150 kV. Sistem transmisi 150 kV di Pembangkit Teluk Lembu, mensuplai daya ke GI Garuda Sakti dan interkoneksi dengan GI Tenayan. Tiga unit transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi 150 kV menjadi level tegangan distribusi 20 kV.

Masing-masing transformator distribusi di GI Teluk Lembu memiliki penyulang 20 kV. Pada unit 1 memiliki 6 penyulang, yaitu Penyulang Surian, Cemara, Mahoni, Cendana dan Jati. Pada unit 2 memiliki 8 penyulang, yaitu Penyulang Pinus, Bakau, Rengas, Sungkai, Ketapang, Ubar, Kuras dan Akasia. Pada unit 3 memiliki 8 penyulang, yaitu penyulang Rotan, Pinang, Damar, Merbau, Kulim, Meranti, Sengon dan Ramin[3].

Dari ketiga unit transformator distribusi, unit 2 mengalami pembebanan tertinggi yaitu mencapai 75,46% untuk pembebanan rata-rata. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pembebanan pada unit 2 telah mendekati pembebanan maksimal. Batas pembebanan transformator dengan suhu lingkungan 30°C adalah 90%[4,5]. Mengingat masalah pembebanan berlebih pada transformator dapat mempersingkat usia transformator[6]. Oleh karena itu, pihak Gardu Induk Teluk Lembu perlu menjaga batas-batas pembebanan pada transformator[3].

Untuk menjaga batas-batas pembebanan pada transformator, pihak GI telah melakukan interkoneksi pembangkit tambahan pada transformator unit 2. Unit pembangkit tambahan tersebut berbahan bakar gas (PLTMG). Interkoneksi telah dilaksanakan pada awal tahun 2018, akan tetapi terjadi insiden pada pertengahan tahun 2019. Insiden tersebut adalah terbakarnya kubikel (instalasi kontrol) pembangkit, sehingga pihak gardu induk memutuskan interkoneksi untuk sementara waktu[3].

Pemutusan interkoneksi tersebut menyebabkan pembebanan sepenuhnya dipikul oleh transformator unit 2. Terkait kondisi pembebanan yang semakin tinggi, maka pihak gardu induk perlu mengaktifkan kembali unit pembangkit tambahan. Dalam pengaktifan kembali unit pembangkit tentunya dapat mempengaruhi keadaan sistem pada gardu induk. Salah satu pengaruh terhadap sistem adalah meningkatnya arus gangguan hubung singkat[7,8].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hubung singkat (*short circuit*) adalah koneksi yang tidak normal antara satu konduktor ketanah atau ke konduktor lain[9]. Gangguan hubung singkat disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor eksternal dan faktor internal. Pada faktor eksternal gangguan berasal dari luar sistem (binatang, pohon dan bencana alam), sedangkan faktor internal berasal dari dalam sistem (kebocoran isolator atau penuaan pada peralatan)[10,11].

Dalam sistem tiga fasa, gangguan hubung singkat dapat terjadi pada fasa ke tanah atau hanya antar fasa. Gangguan hubung singkat yang dapat terjadi pada sistem tiga fasa diantaranya hubung singkat fasa-fasa (L-L), 1 fasa-tanah, 2 fasa-tanah dan 3 fasa. Setiap jenis gangguan hubung singkat, memiliki besar arus gangguan yang berbeda-beda walaupun pada titik lokasi yang sama[9]. Besarnya arus hubung singkat dalam sistem perlu diketahui untuk menentukan kapasitas pemutus tenaga (PMT) yang tepat[12]. Kapasitas PMT tentunya harus lebih besar dari arus hubung singkat yang terjadi. Apabila pemilihan PMT selalu mengikuti besarnya arus hubung singkat, maka akan berdampak pada biaya pembelian. Semakin besar kapasitas PMT, tentunya harganya semakin mahal. Untuk mengatasi hal tersebut, alternatif yang dilakukan adalah memperkecil arus hubung singkat. Salah satu cara memperkecil arus hubung singkat adalah dengan pemasangan reaktor pada jaringan sistem[13].

Selain itu, besarnya arus hubung singkat dapat mempengaruhi jatuh tegangan[14]. Jatuh tegangan tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada semua sirkuit/saluran meningkat melebihi arus yang sebenarnya. Hal ini tentunya berdampak terhadap sirkuit dengan pembebanan tinggi. Semakin besar arus yang mengalir pada suatu saluran, maka dapat mempengaruhi kinerja relai dalam mendeteksi arus gangguan. Salah satu dampak yang ditimbulkan adalah masalah *sympathetic trip*[15,16].

Sympathetic trip adalah terganggunya penyulang sehat saat terjadi gangguan hubung singkat pada penyulang lain, yang mengakibatkan pemutus tenaga (PMT) penyulang sehat ikut *trip* (putus). Terganggunya penyulang sehat disebabkan oleh kesalahan relai proteksi dalam mendeteksi arus gangguan. *Sympathetic trip* biasanya terjadi pada kondisi beban tak seimbang atau beban tinggi, jenis beban yang dilayani oleh penyulang distribusi, adanya sumber baru dan arus hubung singkat yang terlalu besar[16].

Sympathetic trip mengakibatkan kerugian, baik bagi pihak penyedia daya maupun pihak pengguna daya. Diantara kerugiannya yaitu daya tidak terjual, berhentinya peralatan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

listrik pelanggan, kontinuitas penyaluran terganggu dan berkurangnya indeks keandalan. Oleh karena itu, masalah *Sympathetic trip* ini perlu menjadi perhatian bagi pihak penyedia daya dalam menjaga kontinuitas penyaluran. Berhubung mayoritas beban pada GI Teluk Lembu merupakan beban-beban prioritas termasuk pada unit 2. Beban-beban prioritas tersebut diantaranya rumah sakit, kantor pemerintahan, mall, bank, swalayan, hotel dan bandara[3].

Berdasarkan informasi dari hasil wawancara terhadap operator GI Teluk Lembu[3], selama dua tahun terakhir (2018-2019) telah mengalami lima kasus *sympathetic trip*. Pihak GI Teluk Lembu juga menjelaskan bahwa *sympathetic trip* tidak selalu terjadi melainkan pada kondisi tertentu. Kondisi tertentu yang dimaksudkan adalah kondisi pembebanan tinggi. Lima kasus dalam dua tahun merupakan jumlah yang sedikit. Akan tetapi, satu kasus *sympathetic trip* mengandung arti dua penyulang yang *trip* dalam waktu yang bersamaan. Sehingga dalam lima kasus tercatat sepuluh penyulang *trip*, dari sepuluh tersebut lima penyulang merupakan *trip* yang tidak diinginkan. Adapun penyulang yang mengalami *sympathetic trip* adalah Kuras-Akasia, Sungkai-Akasia, Bakau-Rengas, Ubar-Bakau, dan Sungkai-Kuras dengan jenis gangguan 3 Fasa.

Dari kasus *sympathetic trip* yang terjadi pada GI Teluk Lembu menunjukkan bahwa kinerja relai eksisting belum optimal. Dalam optimalisasi relai pengaman tentunya ada variabel-variabel yang harus di *setting* pada suatu relai[17]. Variabel tersebut adalah *Time Multiplier Setting* (TMS) dan *Plug Setting* (PS). TMS adalah suatu variabel untuk mengubah nilai operasi relai. Jika nilai suatu TMS semakin banyak, maka relai akan membutuhkan lebih banyak waktu untuk beroperasi dan sebaliknya. PS adalah suatu variabel yang berfungsi sebagai rujukan seberapa berbahayanya kesalahan dan dalam waktu berapa kesalahan itu harus diselesaikan.

Penyulang 20 kV pada GI Teluk Lembu terpasang jenis relai proteksi OCR dan GFR. *Over Current Relay* (OCR) adalah relai arus lebih, relai tersebut berfungsi mendeteksi adanya arus lebih yang mengalir dalam sirkuit. Arus lebih tersebut dapat disebabkan oleh gangguan hubung singkat atau beban berlebih. *Ground Fault Relay* (GFR) adalah relai gangguan tanah, yang berfungsi mendeteksi adanya gangguan fasa ke tanah[18]. Kedua relai tersebut memiliki tiga jenis kurva kerja, yaitu *definite time*, *invers*

time dan *instant*. Dalam aplikasinya, seorang teknisi dapat memilih salah satu dari jenis kurva atau mengkombinasikan dua kurva.

Perbedaan mendasar dari ketiga jenis kurva kerja (*Definite*, *Inverse* dan *Instant*) terletak pada bentuk kurva dan prinsip kerja. Relai dengan kurva *definite* cenderung kurang sensitif, akan tetapi memiliki waktu operasi konstan. Relai dengan kurva *inverse* cenderung lebih sensitif dan sedikit lebih lambat beroperasi, akan tetapi semakin besar arus gangguan dapat mempercepat operasinya. Relai dengan waktu *instant* berfungsi sebagai karakteristik cadangan, dimana kurva ini tidak berdisi sendiri melainkan dikombinasikan dengan kurva lain. Sehingga saat kurva yang lain (*definite* atau *inverse*) tidak bekerja maka *instant* berperan sebagai cadangan/*backup*[13]. *Setting* relai penyulang di GI Teluk Lembu saat ini dengan kurva *definite* dan *instant*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan *setting* optimal relai OCR dan GFR dalam mencegah *sympathetic trip*. Dikarenakan sumber awal dari *sympathetic trip* adalah gangguan hubung singkat, maka target awal peneliti adalah mengetahui besarnya nilai arus hubung singkat. Arus hubung singkat tersebut akan meningkat saat interkoneksi pembangkit dilakukan. Target kedua adalah analisis kinerja relai OCR dan GFR dengan memberikan gangguan hubung singkat yang diikuti dengan variasi beban. Analisis dilakukan menggunakan *software Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP 12.6.0). Analisis ini dilakukan saat beban puncak pada dua kondisi, yaitu kondisi sebelum dan sesudah interkoneksi pembangkit tambahan. Penggunaan ETAP dalam analisis dapat membantu dalam menganalisis kondisi sistem yang memungkinkan terjadinya *sympathetic trip*. Dengan mengetahui kondisi tersebut, maka dapat ditentukan langkah-langkah mengatasi *sympathetic trip*.

Sejauh ini, solusi dalam penanganan *sympathetic trip* berdasarkan penelitian terkait dapat dilakukan dengan *resetting* relai OCR dan GFR[19],[20]. *Resetting* relai dilakukan dengan menaikkan waktu respon relai, dimana waktu respon relai sangat mempengaruhi sensitifitas relai. Selanjutnya memperkecil arus gangguan hubung singkat dengan penambahan impedansi pada jaringan[15],[21]. Impedansi tambahan yang diberikan dapat berupa transformator. Berikutnya yaitu dengan pemasangan relai *directional*/berarah, relai direksional ini sangat cocok untuk sistem paralel atau dua sumber pembangkit[22]. Relai

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

direksional memiliki kemampuan membaca arah arus gangguan, sehingga relai akan bekerja jika arah arus gangguan sesuai dengan *setting* yang ditentukan.

Saat ini pihak gardu induk telah melakukan evaluasi *setting* relai proteksi pada tiap-tiap penyulang [3]. Evaluasi yang dilakukan sebatas perubahan waktu respon relai (*pick up*) tanpa mengganti kurva kerja relai. Evaluasi tersebut masih memiliki kekurangan dikarenakan kurva yang dipilih adalah *definite* dengan *instant*. Dari penelitian terkait dalam mengatasi *sympathetic trip* kurva *inverse* menjadi pilihan dari pada kurva *definite*[14,15]. Hal ini menjadi salah satu dasar untuk memberikan solusi yang lebih baik dari *setting* relai saat ini. Selain itu, ada hal yang tidak kalah penting untuk diperhatikan yaitu memperkecil arus hubung singkat. Dalam penelitian ini, dari sisi ekonomi peneliti lebih memilih reaktor sebagai pembatas arus hubung singkat dari pada menambah impedansi.

Berdasarkan permasalahan dan berbagai solusi yang telah dijelaskan, maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui kinerja relai dan penyebab terjadinya *sympathetic trip*. Mengingat beban tiap penyulang semakin tinggi dan akan adanya interkoneksi pembangkit tambahan yang dapat memperbesar arus hubung singkat. Hal tersersebut tentunya dapat memperbesar peluang terjadinya *sympathetic trip*. Pengembangan yang ingin dilakukan dalam penelitian ini adalah metode analisis pada kondisi beban puncak, dikarenakan dari penelitian terkait[19][20][23][22][15][24]tidak sampai kondisi beban puncak dengan variasi beban. Untuk pemasangan reaktor pembatas arus hubung singkat dan perubahan kurva kerja relai dari *definite* dengan *instant* menjadi *inverse* dengan *instant*. Atas dasar inilah, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “**Optimalisasi Relai OCR dan GFR Di Gardu Induk Teluk Lembu Dalam Meminimalisir Sympathetic Trip Penyulang 20 kV** (Studi Kasus Gardu Induk Teluk Lembu Kota Pekanbaru Provinsi Riau)”.

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

Bagaimana pengaruh interkoneksi pembangkit tambahan terhadap tingkat pembebanan pada transformator unit dua?

Bagaimana nilai arus hubung singkat sebelum dan setelah interkoneksi pembangkit tambahan?

Bagaimana pengaruh variasi beban terhadap kinerja relai OCR dan GFR berdasarkan data *setting* milik PLN ?

Bagaimana Memperkecil arus hubung singkat ?

Bagaimana mengoptimalisasi relai OCR dan GFR dalam mencegah *sympathetic trip*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- Menganalisis pengaruh interkoneksi pembangkit terhadap tingkat pembebanan pada transformator unit dua.
- Menganalisis arus hubung singkat sebelum dan setelah interkoneksi pembangkit tambahan.
- Menganalisis pengaruh variasi beban terhadap kinerja relai OCR dan GFR pada masing-masing Penyulang.
- Memperkecil arus hubung singkat
- Menganalisis dan mengetahui langkah-langkah optimalisasi dalam mencegah *sympathetic trip*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas pembahasan dan menghindari perluasan masalah, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah:

Penelitian dilakukan pada penyulang 20 kV di PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Teluk Lembu.

Jenis pembangkit tambahan adalah generator sinkron dari Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) 2 x 20 MW.

Tidak membahas dampak lain dari interkoneksi pembangkit melainkan kontribusi terhadap arus gangguan.

Jenis gangguan yang diberikan berupa hubung singkat satu 1fasa ke tanah, 2fasa ke tanah, fasa ke fasa dan 3 fasa.

Mensimulasikan gangguan hubung singkat dan koordinasi Relai dengan *Software* ETAP 12.6.0.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Bagi Penulis

Dapat mengaplikasikan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dalam menganalisis *sympathetic trip* dan *setting* relai.

2. Bagi Lembaga Pendidikan

Dapat dijadikan sumber referensi bagi pihak yang membutuhkan.

Bagi Perusahaan

Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan *setting* relai untuk mencegah *sympathetic trip*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini peneliti merangkum beberapa referensi terkait analisis gangguan *sympathetic trip*, Pada penelitian[15] dilakukan perhitungan arus hubung singkat pada tiap bus di Plant Eksisting Tursina, PT.Pupuk Kaltim. Hasil yang didapat adalah Pada saat gangguan terjadi di Tursina pada bus TUS-SG-01 dan Bus TU-SG-01, terjadi *Sympathetic Trip* di Kanibungan. Gangguan yang bersumber pada kawasan Tursina dirasakan oleh rele-rele di kawasan Kanibungan dikarenakan arus gangguan dari kawasan Kanibungan menuju Tursina terlalu besar 8.141 kA. Sehingga perlu memperkecil besarnya arus gangguan dengan memasang impedansi berupa *Insulated Transformer* sebesar 25 MVA dengan impedansi 10% terbukti dapat mengurangi besarnya arus hubung singkat yang mengalir ke Island Kanibungan menjadi sebesar 1.75 kA sehingga sistem proteksi di Kanibungan tidak terganggu.

Dalam penelitian [22] terjadi *sympathetic trip* pada dua sirkuit penyulang, yaitu penyulang Ngurah Rai I dan Ngurah Rai II. Kedua penyulang ini memiliki konfigurasi parallel, dengan kasus apabila terjadi gangguan hubung singkat Penelitian ini menganalisis akibat yang ditimbulkan dari gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, yaitu timbulnya arus urutan nol yang dapat menyebabkan *sympathetic trip*. Sebelumnya, relai proteksi pada penelitian ini belum terpasang relai direksional. Oleh karena itu, dengan pemasangan *DGR* arus urutan nol yang muncul akibat hubung singkat satu fasa ke tanah dapat terdeteksi oleh *DGR*.

Pada penelitian[24] melakukan perhitungan besar arus hubung singkat satu fasa ketanah berdasarkan jarak tiap titik gangguan. Jarak titik gangguan dimulai dari 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari panjang saluran. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa semakin jauh titik gangguan maka nilai arus hubung singkat semakin kecil dan sebaliknya. Dikarenakan *setting* relai *existing* tidak sesuai dengan besar arus gangguan, maka perlu

dilakukan penyetelan *Ground Fault Relay (GFR)* untuk meminimalkan gangguan *sympathetic trip*.

Pada penelitian [19] permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini adalah jika terjadi gangguan pada suatu transformator, maka pengaman pada transformator yang lain ikut bekerja. Penyebab utama adalah *setting* relai pengaman tidak sesuai dengan standar keandalan yang ditentukan. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian *setting* relai pengaman yang baru dengan trafo 1 diberi gangguan hubung singkat 3 fasa. Koordinasi *relay* berupa *setting GFR* dan *OCR*, hasil yang didapat relai bekerja jika gangguan yang terjadi di daerah pengamanan relai tersebut tanpa mempengaruhi dari daerah pengamanan yang lain.

Pada penelitian[20] menganalisis dua penyulang, yaitu Penyulang Bumirejo dan Penyulang Suwandak. Dalam penelitian ini, diketahui penyebab *sympathetic trip*, yaitu adanya kebocoran arrester, bodi trafo dan bodi panel yang mengakibatkan hubung singkat fasa-tanah sehingga menimbulkan arus urutan nol (I_0). Besar arus gangguan dari kebocoran arester pada Penyulang Bumirejo 2,59 A dan pada Penyulang Suwandak 2,36 A. Setelah dilakukan perbaikan, maka total arus bocor pada Penyulang Bumirejo sebesar 0,012 A dan Penyulang Suwandak sebesar 0,041 A. Maka dilakukan *resetting DGR* karena I_0 melebihi *setting* arus kerja *DGR*.

Pada penelitian[20], penyebab *sympathetic trip* yaitu gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Gangguan tersebut menimbulkan arus kapasitif yang mengalir saat terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah melebihi *setting* arus yang ada pada relai OCR tiap penyulang, dalam hal ini adalah Penyulang Unggasan. Penyulang tersebut memiliki konfigurasi radial. Hasil perhitungan arus kapasitif yang mengalir pada Penyulang Unggasan adalah 72.79 A, dimana ini lebih besar dari *setting* arus *existing* yaitu sebesar 60 A. Maka perlu dilakukan *resetting GFR* untuk arusnya sebesar 94.62 A

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka peneliti tertarik untuk melaksanakan penelitian pada penyulang 20 kV di Gardu Induk Teluk Lembu. Dalam hal ini peneliti mengangkat judul “**Optimalisasi Relai OCR Dan GFR Di Gardu Induk Teluk Lembu Dalam Meminimalisir Sympathetic Trip Penyulang 20 kV**”. Pada penelitian ini penulis

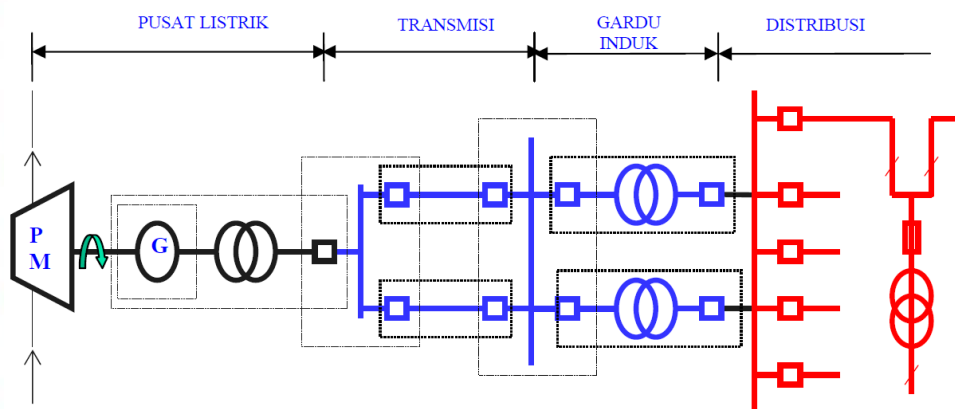
mengambil data sekunder milik PT.PLN (PERSERO) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Pekanbaru dan Gardu Induk Teluk Lembu. Adapun data tersebut meliputi *setting* relai eksisting, spesifikasi trafo, spesifikasi pembangkit tambahan, data penyulang 20 kV, *single line* diagram dan beban penyulang 20 kV. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait adalah pada penelitian ini dilakukan pengujian relai terhadap semua jenis gangguan hubung singkat dengan variasi beban. Terkait arus hubung singkat, peneliti memilih reaktor sebagai pembatas arus hubung singkat. Untuk pemilihan kurva relai, peneliti mengkombinasikan kurva *inverse* dengan *instant* yang sebelumnya adalah *definite* dengan *instant*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik

Pada umumnya tenaga listrik dibangkitkan melalui konversi energi primer menjadi energi mekanik (gerak) dalam bentuk putaran. Energi primer biasanya berupa air, bahan bakar, panas bumi, dan angin. Setelah energi primer dikonversi menjadi energi mekanik dalam bentuk gerak putar, maka energi mekanik dimanfaatkan untuk menggerakkan poros generator menggunakan mesin diesel atau turbin. Poros generator yang berputar membuat generator menghasilkan energi listrik. Kemudian energi listrik dimanfaatkan untuk kebutuhan berbagai konsumen/pengguna[25].

Sebuah sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa sub sistem, yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi primer/sekunder (tegangan menengah/tegangan rendah)[26]. Setiap sistem berbeda level tegangannya, yaitu pada pembangkit (6 kV - 24 kV), transmisi (30 kV - 500 kV), distribusi primer (11 kV-25kV) dan distribusi sekunder (380V/220V). Saat ini jaringan distribusi tegangan menengah milik PT.PLN (PERSERO) di Indonesia menggunakan tegangan 20 kV sedangkan tegangan rendah 380V/220V[25]. Distribusi primer disebut feeder/penyulang sebagai penyedia energi listrik yang akan disalurkan ke pelanggan melalui distribusi sekunder.



Gambar 2.1 Jaringan Sistem Tenaga Listrik[25]

Gambar 2.1 diatas merupakan alur atau proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju pelanggan/beban. Dimulai dari pusat pembangkit menuju transformator *step up* untuk menaikkan tegangan menjadi tegangan tinggi sesuai level saluran transmisi. Dari saluran transmisi, sebelum tenaga listrik didistribusikan maka perlu diturunkan tegangan menjadi level distribusi melalui transformator gardu induk.

2.2.2 Gardu Induk


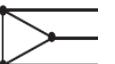

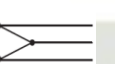


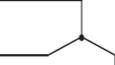
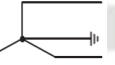

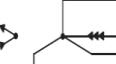
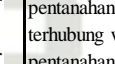


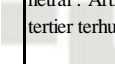

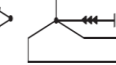
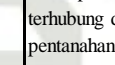
Gardu induk adalah suatu instalasi peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengubah tegangan, pengukuran, kontrol dan perlindungan/proteksi. Adapun fungsi utama gardu induk adalah sebagai pengubah tegangan, yaitu menaikkan atau menurunkan tegangan. Suatu gardu induk perlu menaikkan tegangan untuk keperluan transmisi, yaitu tegangan tinggi. Apabila gardu induk diperlukan sebagai distribusi, maka GI berfungsi untuk merubah tegangan ke level distribusi.

2.2.2.1 Transformator Gardu Induk

Transformator adalah suatu alat listrik yang berfungsi menaikkan tegangan (*step up*) dan menurunkan tegangan (*step down*) tanpa merubah frekuensi. Transformator berdasarkan fasanya terbagi menjadi dua, yaitu transformator satu fasa dan transformator tiga fasa. Perbedaan dari kedua jenis transformator hanya terletak pada jumlah fasanya, untuk fungsi lainnya memiliki kesamaan. Pada transformator tiga fasa, memiliki jenis koneksi belitan yang

berbeda-beda. Jenis koneksi belitan transformator 3 fasa dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut[18].

Tabel 2.1 Jenis Koneksi Belitan Transformator 3 Fasa[18]

		JENIS KONEKSI			KETERANGAN
Dua Belitan (Primer / Sekunder)	Delta / Delta (Δ / Δ)	Primer 	Sekunder 	Transformator dengan jenis koneksi belitan delta / delta, artinya pada belitan primer terhubung delta (Δ) begitupun pada belitan sekundernya.	
	Wye / Delta tanpa grounded (Y / Y)	Primer 	Sekunder 	Transformator dengan jenis koneksi belitan wye / delta, artinya pada belitan primer terhubung wye (Y) dan pada belitan sekunder terhubung delta (Δ).	
	Wye / Wye resistant / reactor netral grounded (Y / Y)	Primer 	Sekunder 	Transformator jenis koneksi belitan wye / wye dengan tahanan pada pentanahan titik netral di kedua sisi. Artinya pada kedua belitan primer / sekunder (Y / Y) pada titik netralnya ditanahkan melalui tahanan berupa resistor atau reaktor.	
	Wye / Wye solid grounded (Y / Y)	Primer 	Sekunder 	Transformator jenis koneksi belitan wye / wye dengan pentanahan langsung pada salah satu sisi titik netral . Artinya pada pentanahan langsung yaitu tanpa adanya tahanan berupa reaktor maupun resistor.	
Tiga Belitan (Primer / Tertier / Sekunder)	Wye / Delta / Wye resistant / reactor netral grounded (Y / Y)	Primer 	Tertier 	Sekunder 	Transformator jenis koneksi belitan wye / delta / wye dengan tahanan pada pentanahan titik netral . Artinya pada transformator ini memiliki belitan primer terhubung wye, tertier terhubung delta dan sekunder terhubung wye. Dengan pentanahan netral primer dan sekunder melalui tahanan reaktor / resistor
	Wye / Delta / Wye tanpa netral grounded (Y / Y)	Primer 	Tertier 	Sekunder 	Transformator jenis koneksi belitan wye / delta / wye tanpa pentanahan titik netral . Artinya pada transformator ini memiliki belitan primer terhubung wye, tertier terhubung delta dan sekunder terhubung wye tanpa pentanahan netral.
	Delta / Delta / Wye resistant / reactor netral grounded (Y / Y)	Primer 	Tertier 	Sekunder 	Transformator jenis koneksi belitan delta / delta / wye dengan pentanahan titik netral pada sisi wye . Artinya pada transformator ini memiliki belitan primer terhubung delta, tertier terhubung delta dan sekunder terhubung wye dengan pentanahan netral melalui tahanan reaktor / resistor.

Kapasitas transformator gardu induk berkisar 5 MVA sampai lebih dari 80 MVA. Kapasitas transformator disebut juga *rating*, artinya transformator hanya mampu dialiri arus sesuai dengan kapasitasnya. Untuk mengetahui besarnya arus tersebut dapat dilihat pada persamaan dibawah ini[27] :

$$I_{Nom} = \frac{S_{kVA}}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

I_{Nom} : arus nominal transformator (A)

S_{kVA} : kapasitas transformator (kVA)

V_{L-L} : tegangan fasa ke fasa (kV)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.2.1.1 Bagian-Bagian Transformator

Transformator terdiri dari beberapa bagian, setiap bagian dari transformator memiliki fungsi yang berbeda-beda. Adapun bagian-bagian transformator adalah sebagai berikut [28]:

1. Inti besi

Inti besi berfungsi sebagai tempat melilitkan kumparan transformator, inti besi tersusun atas lempengan-lempengan besi tipis. Lempengan besi tipis menjadi pilihan dikarenakan mampu mengurangi efek panas yang mengakibatkan rugi daya pada transformator. Hal ini sering disebut rugi-rugi besi yang diakibatkan arus fluks putar (*eddy current*).

2. Kumparan transformator

Kumparan pada transformator berupa lilitan kawat berisolasi, baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain. Jenis isolasi yang umum digunakan adalah karton, *pertinax* dll. Kumparan transformator terdiri dari dua bagian, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan tersebut selalu memiliki jumlah lilitan yang berbeda sesuai kebutuhan. Jika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan/arus maka kumparan primer akan menginduksikan arus/tegangan ke kumparan sekunder. Kumparan sekunder akan menghasilkan nilai tegangan dan arus yang berbeda dari kumparan primer. Hal tersebut dikarenakan jumlah lilitan kumparan sekunder selalu berbeda dengan kumparan primer.

3. Kumparan tertier

Kumparan tertier berfungsi untuk memperoleh tegangan tertier untuk keperluan lain. Kumparan ini selalu terhubung delta, kumparan ini digunakan untuk penyambungan peralatan bantu seperti kondensator, kapasitor dan reaktor. Akan tetapi tidak semua transformator memiliki kumparan tertier.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

4. Minyak transformator

Umumnya transformator memiliki kumparan terendam minyak, tujuannya adalah minyak mampu berfungsi sebagai media isolasi dan pendingin.

5. *Bushing*

Bushing berfungsi untuk menghubungkan transformator dengan jaringan luar (sumber listrik). *Bushing* adalah konduktor berselubung isolasi, isolasi tersebut berfungsi memisahkan bagian konduktor dengan bodi transformator.

6. Tangki dan konservator

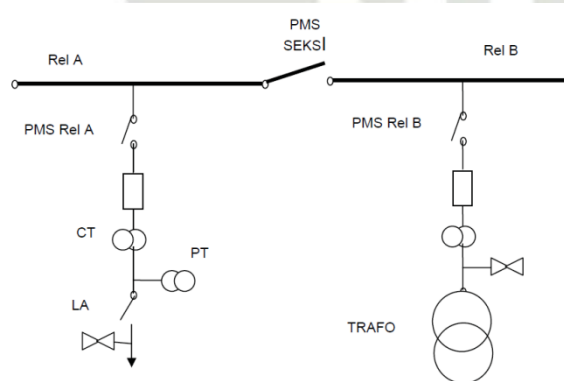
Tangki berfungsi sebagai tempat meletakkan minyak transformator dan konservator berfungsi sebagai tempat penampungan minyak transformator saat terjadi pemuaian.

2.2.2.2 Gardu Induk Berdasarkan Jumlah *Busbar*

Busbar atau rel adalah titik pertemuan atau koneksi antara jaringan (*input/output*) dengan transformator. Beberapa jenis gardu induk berdasarkan konfigurasi busbar yaitu sebagai berikut[28] :

1. Gardu induk *sigle busbar*

Merupakan gardu induk dengan sistem *single busbar*, biasanya gardu induk dengan *single busbar* terletak pada ujung transmisi.

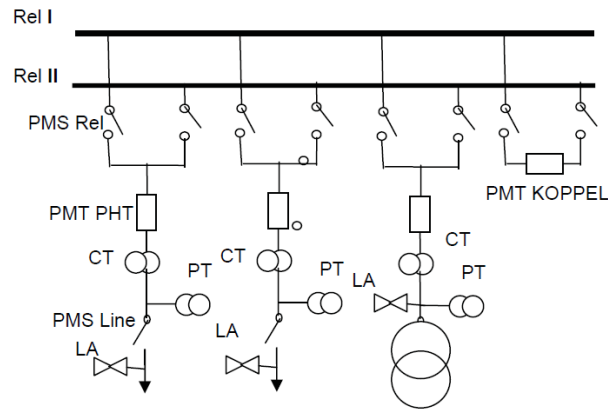


Gambar 2.2 Gardu Induk *single busbar*[23]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2. Gardu induk *double busbar*

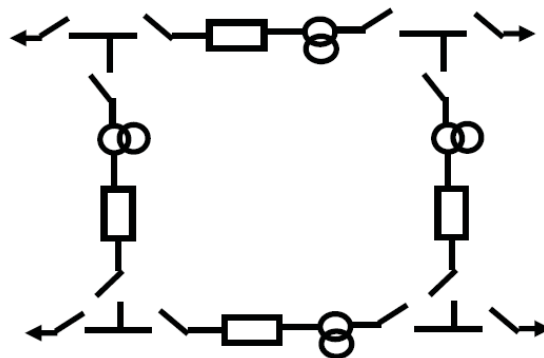
Gardu induk jenis ini memiliki dua busbar, sistem ini hampir digunakan diseluruh gardu induk.



Gambar 2.3 Gardu Induk *Double Busbar*[23]

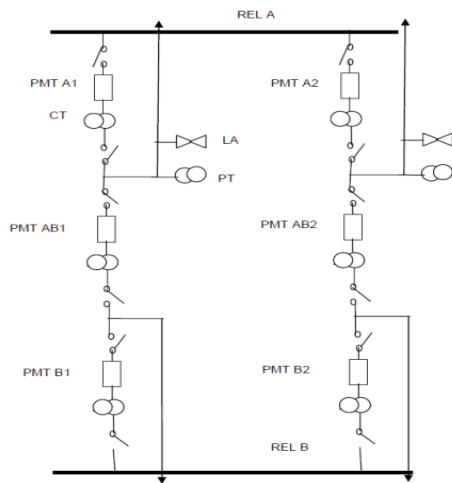
3. Gardu induk *ring busbar*

Gardu induk ini memiliki sistem *busbar* berbentuk *ring* atau cincin, hhal ini juga memungkinkan bus terkoneksi satu sama lain melalui switch/saklar.



Gambar 2.4 Gardu Induk *Ring Busbar*[23]

4. Gardu induk satu setengah busbar



Gambar 2.5 Gardu Induk Satu Setengah Busbar[23]

2.2.2.3 Pemutus Tenaga (PMT) Pada Gardu Induk

Pemutus tenaga (PMT) atau *circuit breaker* (CB) adalah suatu alat yang berfungsi untuk memutus dan menyambungkan arus gangguan atau arus beban. Pemutus tenaga terdiri dari beberapa jenis berdasarkan media isolasinya, media isolasi tersebut berfungsi untuk meredam munculnya busur api saat PMT bekerja. Jenis PMT diantaranya yaitu[29]:

1. PMT isolasi gas

Jenis gas yang digunakan pada PMT ini adalah gas SF₆ (*sulphur hexafluoride*). Sifat gas ini yaitu tidak mudah terbakar, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak beracun. Gas SF₆ memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik semakin bertambah saat bertekanan.

2. PMT isolasi hampa udara

PMT hampa udara (*vacuum circuit breaker*) adalah suatu alat pemutus yang menggunakan ruang hampa udara sebagai media isolasi. Ruang hampa udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik.

3. PMT isolasi minyak

PMT dengan isolasi minyak (*oil circuit breaker*) adalah pemutus tenaga dengan media minyak sebagai peredam busur api. PMT jenis minyak dibedakan menjadi dua berdasarkan jumlah minyak yang digunakan. PMT dengan banyak minyak (*bulk oil*) dan sedikit minyak (*small oil*).

4. PMT isolasi udara

PMT ini menggunakan udara sebagai pemutus busur api dengan cara menghembuskan udara ke ruang pemutus. PMT jenis ini disebut PMT udara hembus (*air blast circuit breaker*) atau PMT udara hembus tekanan tinggi (*compressed air circuit breaker*). Udara tersebut dihembuskan ke ruang pemutus melalui *nozzle* pada kontak pemisah.

Suatu PMT didesain dengan kemampuan pemutus arus beban maupun arus gangguan, kemampuan PMT dalam memutus arus disebut *interrupting current*. Besar arus tergantung dari waktu membukanya alat pemutus tenaga (PMT). Pada umumnya komponen DC tersebut sulit dihitung, jadi untuk mengikut sertakan komponen DC, arus simetris yang diperoleh dikalikan dengan faktor pengali[30].

Tabel 2.2 Faktor Pengali PMT[30]

Waktu Membukanya PMT	Faktor Pengali
8 cycle (0,16 detik)	1,0
5 cycle (0,10 detik)	1,1
3 cycle (0,06 detik)	1,2
2 cycle (0,04 detik)	1,4
Sesaat	1,6

Untuk menentukan *interrupting current* suatu PMT dapat menggunakan persamaan 2.2 berikut[31].

$$I_{CB} = I_{SC} \times K \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

I_{CB} = arus interupsi *circuit breaker* (A)

I_{sc} = arus hubung singkat 3 fasa (A)

K = faktor pengali waktu pembukaan PMT

2.3 Konduktor

Konduktor merupakan suatu media untuk mengalirkan arus listrik keseluruhan sistem tenaga listrik, mulai dari pembangkit (sumber tenaga listrik) hingga kekonsumen. Konduktor sendiri terbuat dari berbagai jenis bahan, mulai dari aluminium, tembaga dan baja. Setiap jenis bahan memiliki sifat-sifat yang berbeda, sifat tersebut tentunya berhubungan dengan kemampuan hantarnya. Selain itu pertimbangan dalam memilih bahan konduktor harus memenuhi beberapa syarat diantaranya[29]:

1. konduktifitas tinggi
2. kekuatan tarik mekanikal tinggi
3. titik berat
4. biaya rendah
5. tidak mudah patah

Beberapa jenis konduktor yang umum digunakan dalam penyaluran tenaga listrik adalah sebagai berikut :

1. AAC (*All Aluminium Conductor*)

Konduktor ini cocok untuk saluran udara pada transmisi maupun distribusi, konduktor ini terbuat dari dua lapis aluminium yang dipilin.

2. AAAC (*All Alloy Aluminium Conductor*)

Konduktor untuk transmisi ataupun distribusi, dengan paduan aluminium tiga lapis yang dipilin.

3. AAAC-S (*All Alloy Aluminium Conductor-Sielded*).

Digunakan untuk saluran udara 20 kV transmisi dan distribusi, inti satu dengan bahan aluminium trisolasi jenis XLPE.

4. ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

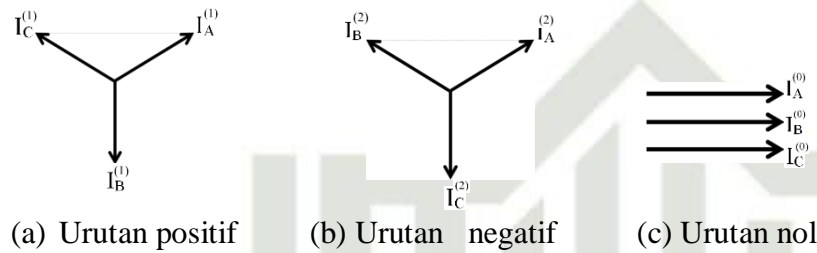
Digunakan untuk saluran udara transmisi dan distribusi, dengan inti baja yang dilapis aluminium (AAC).

5. Kabel Tanah (NA2XSEBY)

Untuk instalasi dalam ruangan, dalam tanah, untuk pembangkit dan gardu induk.

2.4 Komponen Simetris

Komponen simetris adalah suatu metode untuk menyederhanakan perhitungan suatu kesalah sistem tiga fasa tidak seimbang menjadi satu set sistem fasor seimbang[34]. Set ini disebut komponen urutan positif, urutan negatif dan urutan nol.



Gambar 2.7 Fasor Komponen Simetris[27]

Setiap set jumlah fasa dapat dikonversi kedalam komponen simetris, dengan α dedefinisikan sebagai sudut fasa $1 \angle 120^\circ$. Sebagaimana pada persamaan 2.3 berikut.

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

I_0 = arus urutan nol

I_1 = arus urutan positif

I_2 = arus urutan negatif

α = sudut fasa ($1 \angle 120^\circ$)

α^2 = $1 \angle 240^\circ$

Maka

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C)$$

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_A + \alpha I_B + \alpha^2 I_C)$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_A + \alpha^2 I_B + I_C)$$

2.5 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat (*short circuit*) adalah koneksi yang tidak normal antara satu konduktor ketanah atau ke konduktor lain[9]. Standar IEC 60909 mendefinisikan dan menyajikan suatu metode yang menerapkan komponen simetris, yang dapat digunakan oleh para insinyur yang tidak berspesialisasi dalam lapangan. Metode ini berlaku untuk jaringan listrik dengan tegangan nominal kurang dari 550 kV dan standar menjelaskan perhitungan minimum dan arus hubung singkat maksimum.

Suatu prosedur yang harus dilakukan adalah menghitung tegangan ekivalen pada patahan lokasi, sama dengan $c \times V_{L-L} \sqrt{3}$. Dengan c adalah faktor tegangan yang diperlukan dalam perhitungan untuk variasi tegangan dalam ruang dan waktu, kemungkinan perubahan pada sadapan transformator dan perilaku generator dan subtransient motor. Selain itu, faktor c tergantung pada perhitungan yang diperlukan dan tingkat tegangan yang diberikan. Standar level tegangan ditunjukkan pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.4 Nilai Faktor c[35]

Arus Hubung Singkat	Tegangan 100 V - 1000 V	Tegangan 1 kV - 500 kV
Maksimal	1.05 - 1.1	1.1
Minimal	0.95	1

Selanjutnya dalam perhitungan arus hubung singkat, data yang harus diketahui adalah data impedansi jaringan. Data impedansi yang harus diketahui adalah besar impedansi sumber menuju titik gangguan. Untuk menentukan impedansi suatu jaringan dapat dilihat pada persamaan 2.4[36].

$$Z = \sqrt{X^2 + R^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

- Z : Impedansi (ohm)
- X : Reaktansi (ohm)
- R : Resistansi (ohm)

Dalam banyak kasus, suatu data Z, X dan R disediakan dalam bentuk Persen atau per unit (p.u). Sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai Z, X dan R dalam

satuan ohm. Untuk merubah satuan ohm ke p.u atau p.u ke ohm dapat dilihat pada persamaan 2.5, dan 2.6 [37].

$$Z_{p.u} = \frac{Z_{Aktual}}{Z_{Dasar}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Jadi, %Z adalah

$$\%Z = Z_{p.u} \times 100 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

%Z = Impedansi dalam persen

$Z_{p.u}$ = Impedansi dalam satuan (p.u)

Z_{aktual} = Impedansi dalam satuan (ohm)

Z_{dasar} = Impedansi dalam satuan (ohm)

Dalam menentukan impedansi dasar (Z_{base}) suatu sumber yang besar atau interkoneksi transmisi dapat menggunakan nilai MVA 100. Adapun dalam menentukan impedansi dasar pada peralatan seperti transformator nilai MVA disesuaikan data transformator. untuk menentukan impedansi dasar pada transformator dapat menggunakan persamaan 2.7[38].

$$Z_{dasar_trf} = \frac{kV^2}{kVA} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

Z_{dasar_trf} = Impedansi dasar transformator (ohm)

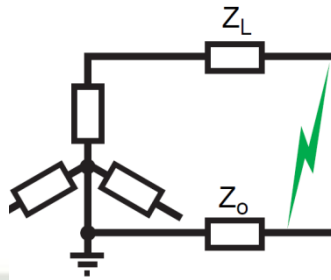
kV^2 = Tegangan Transformator (kV)

kVA = Kapasitas Transformator (kVA)

2.5.1 Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah (*line to ground*), adalah jenis kesalahan yang paling umum dan biasanya paling tidak mengganggu sistem. Arus dalam fase gangguan dapat berkisar dari mendekati nol hingga nilai yang sedikit lebih besar daripada arus gangguan tiga fase. Besarnya arus gangguan *line to ground* ditentukan oleh metode di mana sistem dibumikan dan impedansi dari jalur balik tanah dari arus gangguan. Perhitungan besaran arus

gangguan *line-to-ground* yang tepat membutuhkan teknik perhitungan khusus komponen simetris.



Gambar 2.8 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah[35]

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8[35].

$$I_{hs} = \frac{c \times V_{L-L} \sqrt{3}}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

I_{hs} : arus hubung singkat

c : faktor koreksi

V_{L-L} : tegangan fasa ke fasa (v / kV)

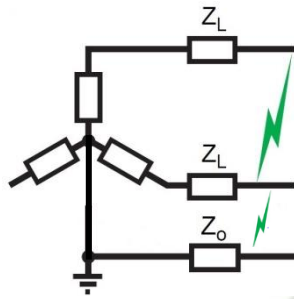
Z_1 : impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 : impedansi urutan negatif (Ω)

Z_0 : impedansi urutan nol (Ω)

2.5.2 Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

Kesalahan *line-to-line-to-ground*, biasanya kesalahan *line-to-ground* yang telah meningkat untuk memasukkan konduktor fase kedua. Ini adalah kesalahan yang tidak seimbang. Besarnya arus gangguan garis-ke-tanah ganda biasanya lebih besar daripada gangguan garis-ke-garis, tetapi lebih kecil dari pada gangguan tiga-fase. Perhitungan arus gangguan garis ganda ke tanah memerlukan penggunaan analisis komponen simetris. Impedansi jalur pengembalian tanah akan mempengaruhi hasilnya, dan harus diperoleh jika memungkinkan.



Gambar 2. 9 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah[35]

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini[35].

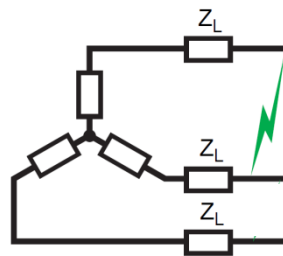
$$I_{hs} = \frac{c \times V_{L-L} |Z_0 - \alpha Z_2|}{|Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0|} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

- I_{hs} : arus hubung singkat
- c : faktor koreksi
- V_{L-L} : tegangan fasa ke fasa (v / kV)
- α : sudut fasa $1 \angle 120^\circ$
- Z_1 : impedansi urutan positif (Ω)
- Z_2 : impedansi urutan negatif (Ω)
- Z_0 : impedansi urutan nol (Ω)

2.5.3 Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Gangguan fasa ke fasa, lebih umum dari pada gangguan tiga fase dan memiliki arus gangguan yang sekitar 87% dari arus gangguan tiga fase. Jenis gangguan ini tidak seimbang dalam tiga fase dan arus gangguannya jarang dihitung untuk peringkat peralatan karena tidak memberikan besaran arus gangguan maksimum. Arus fasa ke fasa dapat dihitung dengan mengalikan nilai tiga fase dengan 0,866, ketika impedansi $Z_1 = Z_2$. Teknik perhitungan komponen simetris khusus tidak diperlukan untuk kondisi ini.



Gambar 2.10 Hubung Singkat Fasa ke Fasa[35]

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.10 dibawah ini[35].

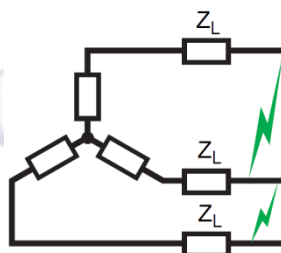
$$I_{hs} = \frac{c \times V_{L-L}}{|Z_1 + Z_2|} \quad (2.10)$$

Dimana :

- I_{hs} : arus hubung singkat
 c : faktor koreksi
 V_{L-L} : tegangan fasa ke fasa (v / kV)
 Z_1 : impedansi urutan positif (Ω)
 Z_2 : impedansi urutan negatif (Ω)

2.5.4 Hubung Singkat Tiga Fasa

Kesalahan tiga fase menggambarkan kondisi di mana tiga konduktor secara fisik disatukan dengan impedansi nol, sama seperti jika tiga konduktor disatukan bersama-sama. Untuk sistem simetris seimbang, besarnya arus gangguan seimbang sama dalam tiga fase. Sementara jenis kesalahan ini tidak sering terjadi, hasilnya digunakan untuk pemilihan alat pelindung, karena jenis kesalahan ini umumnya menghasilkan nilai arus hubung singkat maksimum. Pada gambar 2.11 memberikan representasi grafis dari kesalahan tiga fasa.



Gambar 2.11 Hubung Singkat Tiga Fasa[35]

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan[35] berikut :

$$I_{hs} = \frac{c \times V_{L-L}}{\sqrt{3}|Z_1|} \dots\dots\dots(2.11)$$

c : faktor koreksi

V_{L-L} : tegangan fasa ke fasa (v / kV)

Z_1 : impedansi urutan positif (Ω)

2.6 Kontribusi Motor Terhadap Arus Hubung Singkat

Kontribusi motor adalah arus yang dihasilkan oleh motor selama kondisi hubung singkat. Ini mewakili nilai kecil tetapi penting yang diperlukan untuk menentukan arus hubung singkat maksimum yang tersedia, sehingga menetapkan peringkat hubung singkat peralatan listrik. Dalam hal ini, hanya motor yang beroperasi akan berkontribusi terhadap arus hubung singkat. Terlepas dari ukuran atau peringkat tegangan motor, dapat ditunjukkan bahwa kontribusi motor ada selama kesalahan[39].

Selama operasi normal, motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Arus yang mengalir di stator menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kutub menghadap ke rotor. Medan magnet berputar ini menginduksi arus ke rotor. Medan magnet dengan kutub yang menghadap keluar diproduksi di rotor karena arus yang diinduksi stator. Ini menyebabkan rotor (poros motor) berputar. Selama stator disuplai ke catu daya tegangan stabil, poros motor akan terus berputar.

Selama kondisi korsleting, tegangan sistem akan menurun dan pasokan tegangan yang stabil tidak akan ada lagi. Medan magnet berputar di rotor akan berusaha mendukung kondisi tegangan yang berkurang dengan menjadi sumber listrik. Motor sekarang menyediakan arus tambahan ke sistem kelistrikan yang rusak. Fenomena ini disebut kontribusi motorik.

2.7 Reaktor Pembatas Arus

CLR (*Current Limiter Reactor*) memperkenalkan impedansi yang lebih tinggi ke sistem dengan reaktansi yang terhubung seri untuk melindungi peralatan selama kondisi gangguan. Ini mengurangi level hubung singkat untuk memenuhi kebutuhan sistem serta tekanan pada bus, isolator, pemutus sirkuit, dan perangkat tegangan tinggi lainnya. Terkadang, ia terhubung antara netral sistem dan arde untuk membatasi arus fasa ke bumi dalam kondisi gangguan sistem. Ini juga digunakan sebagai reaktor pembagian beban untuk menyeimbangkan arus dalam rangkaian paralel. Sementara jenis reaktor pembatas adalah[13]:

1. Reaktor inti udara dengan keuntungan tidak ada saturasi dalam kondisi gagal, kerugian rendah, dan umur panjang
2. Reaktor tipe kering
3. Reaktor *Indoor / Outdoor* Reaktor fasa tunggal / tiga fase

Dalam upaya memperkecil arus hubung singkat tentunya harus memperhitungkan kapasitas reaktor yang tepat. Dalam menentukan kapasitas reaktor, dapat dilihat pada persamaan 2.12 berikut[21].

$$X_R = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \times \left[\frac{1}{I_{sca}} - \frac{1}{I_{scb}} \right] \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

X_R = reaktansi reaktor (Ω)

V_s = tegangan sistem (V)

I_{sca} = arus hubung singkat setelah pemasangan reaktor (kA)

I_{scb} = arus hubung singkat sebelum pemasangan reaktor (kA)

Dalam pemasangan reaktor pembatas arus hubung singkat perlu memperhatikan jatuh tegangan pada sistem. Jatuh tegangan harus berada pada rentang yang di izinkan berdasarkan standar PLN, yaitu $10\% > V > 5\%$ [40].

2.8 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah suatu instalasi perlindungan untuk mendeteksi adanya gangguan pada sistem tenaga listrik. Pada instalasi perlindungan diperlukan beberapa komponen, komponen-komponen tersebut adalah[41] :

1. Relai (alat pendeteksi)

Sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah *trip* kepada Pemutus Tenaga (PMT).

2. Trafo arus / trafo tegangan

Sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke Relai (besaran listrik sekunder).

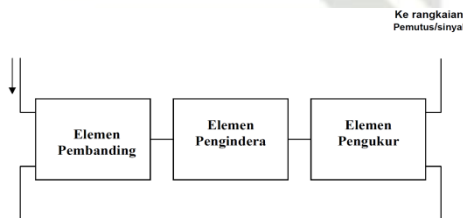
3. Pemutus tenaga (PMT)

Untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu, PMT bekerja apabila mendapat perintah dari relai.

4. Baterai

Alat pengisi (*bateray charger*) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya relai, peralatan bantu *tripping*.

Secara garis besar bagian dari Relai proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti pada blok diagram berikut :



Gambar 2.12 Blok Diagram Relai Proteksi[28]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Elemen pengindra

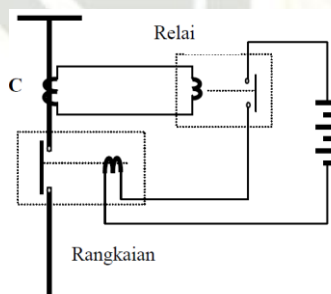
Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung relai yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding.

2. Elemen pembanding

Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen oleh elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relai.

3. Elemen pengukur

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepet pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.



Gambar 2.13 Diagram Relai Proteksi[28]

Untuk mendapatkan kinerja relai yang baik maka harus memenuhi beberapa syarat, seperti sensitif, selektif, cepat, andal dan ekonomis[18].

1. Sensitif adalah kemampuan relai mendeteksi arus gangguan minimum dan maksimum.
2. Selektif adalah kemampuan relai dalam mengamankan daerah pengamanannya, yaitu relai akan memberi perintah trip jika gangguan berada dalam daerah pengamanannya.

3. Cepat adalah kemampuan relai dalam memberi perintah *trip*, karena kecepatan dapat mempengaruhi utilitas sistem dari kerusakan akibat hubung singkat artinya semakin cepat respon relai maka semakin baik.
4. Andal artinya relai siap merespon segala jenis gangguan yang terjadi dan terhindar dari kegagalan kerja.
5. Ekonomis adalah biaya yang dikeluarkan untuk pemasangan relai, diharapkan dengan biaya yang minimum namun didapat hasil pengamanan semaksimal mungkin.

2.8.1 Relai Arus Lebih

Relai arus lebih merupakan suatu alat yang berfungsi mendeteksi adanya gangguan pada sistem tenaga listrik berupa arus lebih. Arus lebih yang dimaksud adalah nilai arus yang melebihi batas nilai yang telah ditentukan. Adanya arus lebih biasanya disebabkan adanya beban berlebih atau karena terjadinya gangguan hubung singkat. Suatu relai akan bekerja berdasarkan setting *Time Multiplier Setting* (TMS) dan *Plug Setting* (PS). TMS adalah suatu variabel untuk mengubah nilai operasi relai. Jika nilai suatu TMS semakin banyak, maka relai akan membutuhkan lebih banyak waktu untuk beroperasi dan sebaliknya. PS adalah suatu variabel yang berfungsi sebagai rujukan seberapa berbahayanya kesalahan dan dalam waktu berapa kesalahan itu harus diselesaikan. Dalam koordinasi relai arus lebih dapat dilakukan dengan diskriminasi waktu atau arus. Dalam diskriminasi waktu, batas selisih antara dua relai mulai 0,25 sampai 0,4 detik[42]. Ada perbedaan untuk penamaan variable TMS dan PS berdasarkan standar internasional dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut[43] :

Tabel 2.4 Persamaan Standar Amerika dan IEC

Standar IEC dan British	Standar Amerika
Plug Setting (PS)	Current Tap Setting (CTS)
Time Multiplier Setting (TMS)	Time Dial Setting (TDS)

Pengaturan *pic-kup*, atau *plug setting*, digunakan untuk menentukan arus *pic-kup* dari relai, dan arus gangguan yang terlihat oleh relai dinyatakan sebagai kelipatan dari ini. Nilai ini biasanya disebut sebagai plug setting multiplier (PSM), yang didefinisikan sebagai rasio dari arus gangguan di amp sekunder ke pickup relay atau pengaturan plug. Untuk relay fase, pengaturan pickup ditentukan dengan memungkinkan margin untuk kelebihan beban di atas

arus nominal, seperti dalam ekspresi berikut. Faktor beban lebih (K) yang direkomendasikan untuk motor adalah 1,5. untuk jalur, transformator, dan generator, biasanya berkisar antara 1,25 hingga 1,5. Dalam sistem distribusi di mana dimungkinkan untuk meningkatkan pemuatan di penyulang dalam kondisi darurat, faktor kelebihan 1,5. Dalam hal apa pun I_{nom} harus lebih kecil dari CT dan kapasitas termal konduktor; jika tidak, nilai terkecil harus diambil untuk menghitung pengaturan *pick-up*[42]. Untuk menentukan pick-up dapat menggunakan persamaan berikut

$$I_{pick-up} = K \times I_{nom} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

$I_{pick-up}$: arus pick-up

K : faktor koreksi beban lebih

I_{nom} : arus nominal beban

Pengaturan waktu panggilan menyesuaikan waktu tunda sebelum relai beroperasi setiap kali arus gangguan mencapai nilai yang sama dengan, atau lebih besar dari, pengaturan arus relai. Dalam relai elektromekanis, waktu tunda biasanya dicapai dengan menyesuaikan jarak fisik antara kontak bergerak dan tetap; nilai panggil waktu yang lebih kecil menghasilkan waktu operasi yang lebih singkat. Pengaturan panggil waktu juga disebut sebagai pengaturan pengganda waktu. Kriteria dan prosedur untuk menghitung pengaturan putaran waktu, untuk mendapatkan perlindungan dan koordinasi yang sesuai untuk sistem, dipertimbangkan berikutnya. kriteria ini terutama berlaku untuk relai *inverse*, meskipun metodologi yang sama berlaku untuk relai *definite*.

Terdapat beberapa karakteristik *tripping* relai arus lebih sesuai dengan waktu *trip* yang diperlukan dan karakteristik perangkat perlindungan lain yang digunakan dalam jaringan. Untuk hal ini, didefinisikan sejumlah standar karakteristik dari relai sebagai berikut[18]:

2.8.1.1 Standard Inverse (SI) or Normal Inverse (NI)

Inverse Time Over Current juga disebut sebagai Time Over Current (TOC), yang berarti bahwa waktu *trip* berbanding terbalik dengan arus gangguan. Persamaan 2.8 adalah perhitungan waktu *trip* standar *inverse*[13].

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_F}{CTR \times PS}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots(2.14)$$

Atau, nilai TMS dapat ditentukan berdasarkan waktu kerja yang diinginkan dengan persamaan berikut[44].

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_F}{CTR \times PS}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

t = waktu kerja relai

I_F = arus hubung singkat

PS = *plug setting*

TMS = *time multiplier setting*

CTR = *Current transformer ratio*

2.8.1.2 Very Inverse (VI)

Relai arus lebih karakteristik *very inverse* (sangat terbalik) sangat cocok jika ada pengurangan arus gangguan yang substansial karena jarak dari sumber daya meningkat, yaitu ada peningkatan substansial dalam impedansi gangguan. Karakteristik operasi VI sedemikian rupa sehingga waktu operasi kira-kira dua kali lipat untuk pengurangan arus dari 7 menjadi 4 kali pengaturan arus relai. yang diperlukan diperoleh dengan TMS yang lebih rendah untuk arus pengaturan yang sama, dan karenanya waktu *trip* pada sumber dapat diminimalkan. Untuk menghitung waktu trip dapat dilihat pada persamaan 2.4[13].

$$t = \frac{13,5 \times TMS}{\left(\frac{I_F}{CTR \times PS}\right) - 1} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

I_F = Arus hubung singkat

PS = *Plug setting*

TMS = *Time multiplier setting*

CTR = *Current transformer ratio*

2.8.1.3 Extremely Inverse (EI)

Dengan karakteristik ini, waktu operasi kira-kira berbanding terbalik dengan kuadrat arus yang diterapkan. Hal ini membuat relai cocok untuk perlindungan jaringan distribusi di mana pengumpunan dikenakan arus puncak pada saat switching, seperti halnya pada rangkaian daya yang memasok lemari es, pompa, pemanas air dan sebagainya, yang tetap terhubung bahkan setelah gangguan pasokan yang berkepanjangan. Karakteristik operasi lama dari relai sangat terbalik pada nilai beban puncak normal saat ini juga membuat relai ini sangat cocok untuk perataan dengan sekering. Karakteristik EI memberikan margin penilaian yang memuaskan, tetapi karakteristik VI atau SI pada pengaturan yang tidak sama. Aplikasi lain dari relai ini adalah dalam hubungannya dengan auto-reclosers di sirkuit distribusi tegangan rendah. Mayoritas kesalahan bersifat sementara dan tidak perlu memutus serta mengganti sekering yang ada di sirkuit akhir sistem semacam itu dapat dihindari jika auto-reclosers diatur untuk beroperasi sebelum sekering putus. Jika kesalahan berlanjut, auto-recloser mengunci dirinya sendiri dalam posisi tertutup setelah satu pembukaan untuk mengisolasi kesalahan[13].

$$t = \frac{80 \times TMS}{\left(\frac{I_F}{CTR \times PS}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

I_F = Arus hubung singkat

PS = *Plug setting*

TMS = *Time multiplier setting*

CTR = *Current transformer ratio*

2.8.1.4 Definite Time (DT)

Relay arus berlebih biasanya juga dilengkapi dengan elemen yang memiliki karakteristik waktu independen atau pasti. Karakteristik ini menyediakan sarana yang siap untuk mengkoordinasikan beberapa relai secara seri dalam situasi di mana arus gangguan

sistem sangat bervariasi karena perubahan impedansi sumber, karena tidak ada perubahan waktu dengan variasi arus gangguan. Waktu operasi yang lebih rendah dicapai oleh relai terbalik pada nilai yang lebih tinggi dari arus gangguan, sedangkan relai waktu tertentu memiliki lebih rendah waktu operasi pada nilai arus yang lebih rendah.

2.8.1.5 *Instantaneous (high set relay)*

Relai ini beroperasi tanpa penundaan waktu / seketika, sehingga disebut instan unit (waktu operasi = 0,1 detik). Elemen seketika dapat digunakan di mana impedansi sumber kecil dibandingkan dengan impedansi sirkuit yang dilindungi. Hal ini memungkinkan pengurangan waktu *trip* pada tingkat kesalahan yang tinggi. Ini juga meningkatkan keseluruhan penilaian sistem dengan memungkinkan 'kurva diskriminatif' di belakang elemen instan yang ditetapkan untuk diturunkan. Salah satu keuntungan dari elemen instan yang disetel tinggi adalah untuk mengurangi waktu operasi perlindungan sirkuit oleh area yang diarsir di bawah 'kurva yang membedakan. Jika impedansi sumber tetap konstan, maka mungkin untuk mencapai perlindungan kecepatan tinggi pada sebagian besar sirkuit yang dilindungi. Waktu pembersihan kesalahan yang cepat dicapai membantu meminimalkan kerusakan di lokasi gangguan. Relai dengan kurva instant biasa disetting pada arus pickup tujuh kali arus beban penuh[45].

2.8.2 **Proteksi Gangguan Tanah**

Proteksi gangguan tanah merupakan cara untuk melindungi sistem dari gangguan fasa ke tanah dengan bantuan sensor gangguan tanah. Pengamanan tersebut juga menggunakan relai arus lebih dengan tambahan sensor gangguan tanah. Sehingga penyebutan untuk fungsi relai gangguan tanah adalah *ground fault relay* (GFR)[18]. Prinsip kerja relai ini adalah dengan mendeteksi adanya arus yang mengalir melalui titik netral pada transformator (koneksi wye) yang di tanahkan. Adapun untuk karakteristik waktu kerja, cenderung sama dengan relai OCR, yaitu *standar inverse*, *extremely inverse*, *very inverse* dan *instantaneous*.

2.9 ETAP POWER STATION 12.6.0

Electrical Transient and Analysis Program (ETAP) adalah salah satu *software* aplikasi untuk mensimulasikan suatu sistem tenaga listrik. Secara garis besar ETAP dapat digunakan untuk simulasi hasil perancangan dan analisis suatu sistem tenaga listrik yang mencakup hal-hal berikut[46] :

1. Mengambarkan denah beban-beban
2. Mengatur data-data beban dan jaringan
3. Merancang diagram satu garis (*One Line Diagram*)
4. Menganalisis aliran daya (*Load Flow*)
5. Menghitung gangguan hubung singkat (*Short Circuit*)
6. Menganalisis motor *starting* atau keadaan transien
7. Koordinasi proteksi

Pada ETAP ada dua standar yang digunakan, standar itu adalah standar ANSI dan standar IEC. Perbedaan kedua standar ini ada pada simbol komponen yang digunakan. Setiap komponen dapat di gambarkan di ruang kerja dengan simbol-simbol tertentu. Untuk spesifikasinya dapat disesuaikan dengan aslinya dilapangan, atau menggunakan spesifikasi yang tersedia di *library* pada ETAP.

2.9.1 Simbol Komponen

ETAP dilengkapi dengan simbol komponen- komponen suatu sistem tenaga listrik, diantara komponen tersebut adalah *Power Grid*, *Bus*, *Transformator*, Kabel, Motor, *Circuit Breaker* (CB), Beban, *Generator*, dan masih banyak lagi. Untuk tampilan program ETAP 12.6.0 dapat dilihat pada gambar berikut :

1. *Power Grid*
Merupakan sumber tegangan yang ideal, dalam artian sumber tegangan yang dapat mensuplai daya dengan tegangan konstan walaupun daya yang diserap sangat besar. *Power Grid* bisa berupa generator yang besar atau sebuah Gardu Induk (GI) yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik.



(a) ANSI, (b) IEC

Gambar 2.14 Simbol *Grid*[46]

2. Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi sebagai sumber tegangan atau tenaga listrik. Ada perbedaan antara simbol generator berdasarkan standar ANSI dan IEC, perbedaan keduanya dapat dilihat dibawah ini.



(a) ANSI (b) IEC

Gambar 2.15 Simbol Generator[46]

3. Bus

Bus atau Busbar adalah tempat penyambungan/koneksi beberapa komponen sistem tenaga listrik (Generator, transformator, *Power grid*, dan beban). Setiap bus memiliki level tegangan yang disesuaikan dengan besar tegangan yang dihubungkan pada *Bus* tersebut.

4. Transformator

Transformator atau trafo adalah alat listrik yang berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan pada sistem tenaga listrik.

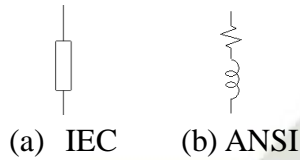


(a) IEC (b) ANSI

Gambar 2.16 Simbol Transformator[46]

Konduktor/kabel

Konduktor merupakan suatu media untuk mengalirkan arus listrik keseluruh sistem tenaga listrik, mulai dari pembangkit (sumber tenaga listrik) hingga kekonsumen



Gambar 2.17 Simbol Kabel[46]

Beban

Beban adalah peralatan listrik yang menyerap atau memanfaatkan daya dari jaringan tenaga listrik. Pada ETAP ada dua jenis beban, yaitu *Static Load* dan *Lump Load*. *Static load* adalah beban yang tidak banyak mengandung motor listrik sehingga tidak banyak mempengaruhi tegangan sistem saat *starting*.

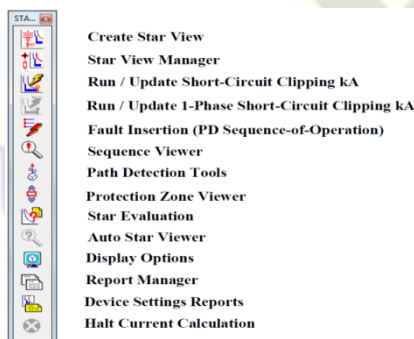
2.9.2 Analisis Koordinasi Proteksi

Analisis ini bertujuan untuk melihat kinerja perangkat proteksi dengan memberikan jenis gangguan hubung singkat. Adapun simbol gangguan pada ETAP 12.6.0 dalam analisis ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2.18 Menu Gangguan Hubung Singkat[46]

Adapun tampilan menu keseluruhan dalam analisis koordinasi proteksi pada ETAP 12.6.0 adalah sebagai berikut :



Gambar 2.19 Menu Analisis Koordinasi Proteksi[46]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian kuantitatif merupakan salah satu metode penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, terstruktur dengan jelas dan tepat. Pendekatan deskriptif merupakan metode pendekatan yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau memberikan gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul tanpa melakukan rekayasa. Pendekatan deskriptif bertujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian ataupun hasil penelitian.

3.2 Lokasi Penelitian

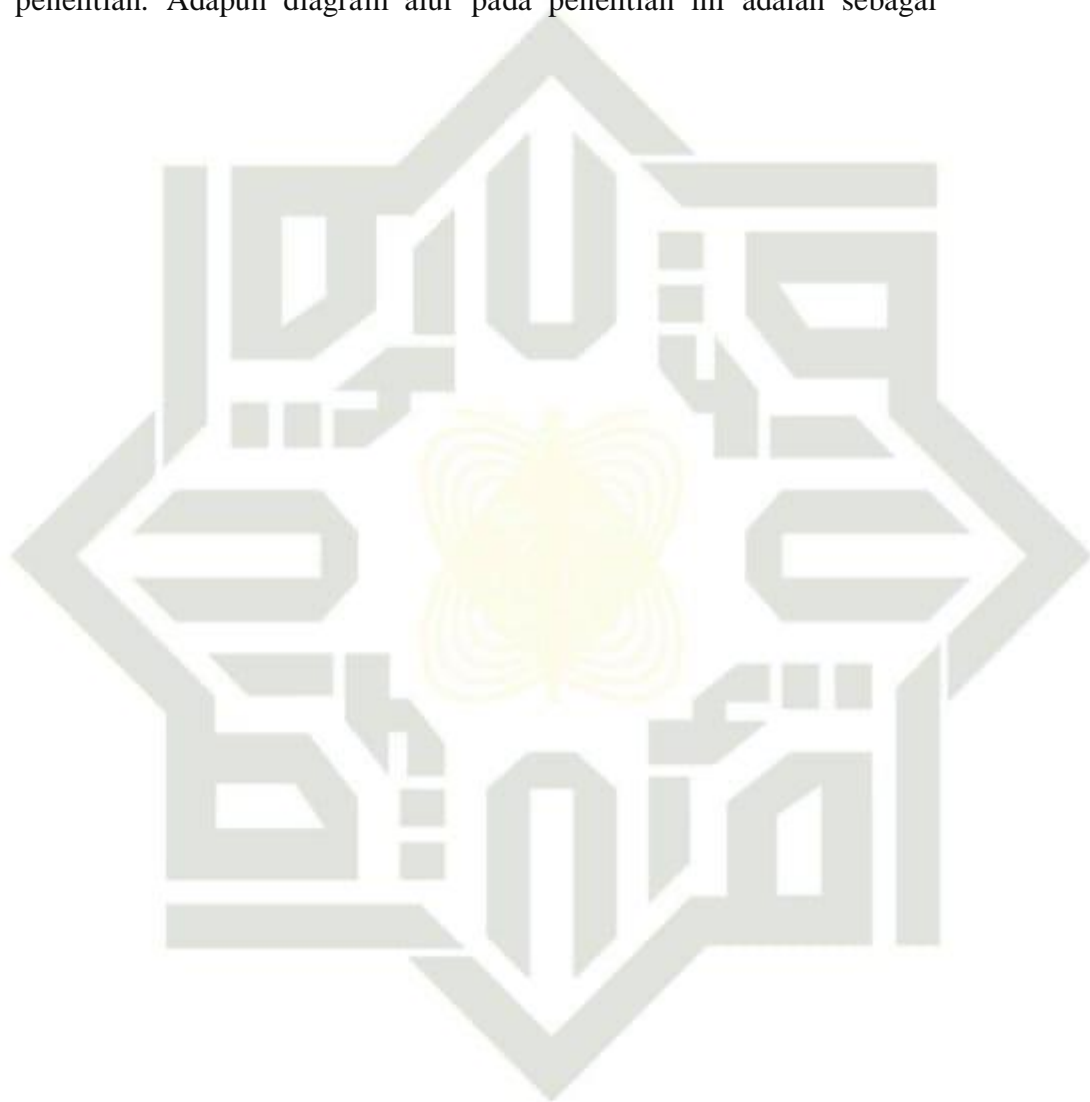
Penelitian ini dilakukan pada penyulang 20 kV di PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Teluk Lembu yang beralamat di Jl. Tanjung Datuk No.340 Kec. Lima Puluh, Pekanbaru Riau. Gardu Induk Teluk Lembu (GITL) memiliki 6 unit transformator, dari keenam unit tersebut terdiri dari 3 unit untuk transmisi dan 3 unit untuk distribusi. Tiga unit transformator distribusi masing-masing berkapasitas 60 MVA. Adapun alasan pemilihan lokasi adalah sebagai berikut:

1. Transformator unit dua merupakan transformator dengan pembebanan tertinggi, dengan pembebanan rata-rata 75,46% dari kemampuan maksimalnya.
 2. Transformator unit 2 memiliki 8 penyulang 20 kV dengan beban-beban prioritas, yaitu Rumah Sakit, Bandara, Mall, Hotel, Bank, dan Kantor Pemerintahan yang harus dijaga kontinuitas penyalurannya.
- Penyulang 20 kV pada transformator unit 2 telah mengalami lima kasus *sympathetic trip* dalam kurun waktu 18 bulan.
- Transformator unit 2 akan diinterkoneksi dengan dua unit pembangkit berkapasitas masing-masing 20 MW (pembangkit yang telah *off* sebelumnya).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

3.3 Tahapan penelitian

Penelitian ini diawali dengan proses studi literatur, diantaranya identifikasi masalah, menentukan masalah, dan meninjau penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Kemudian melakukan observasi terkait objek penelitian, dalam proses observasi peneliti melakukan pengumpulan data sekunder yang diperlukan dalam penelitian. Adapun diagram alur pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



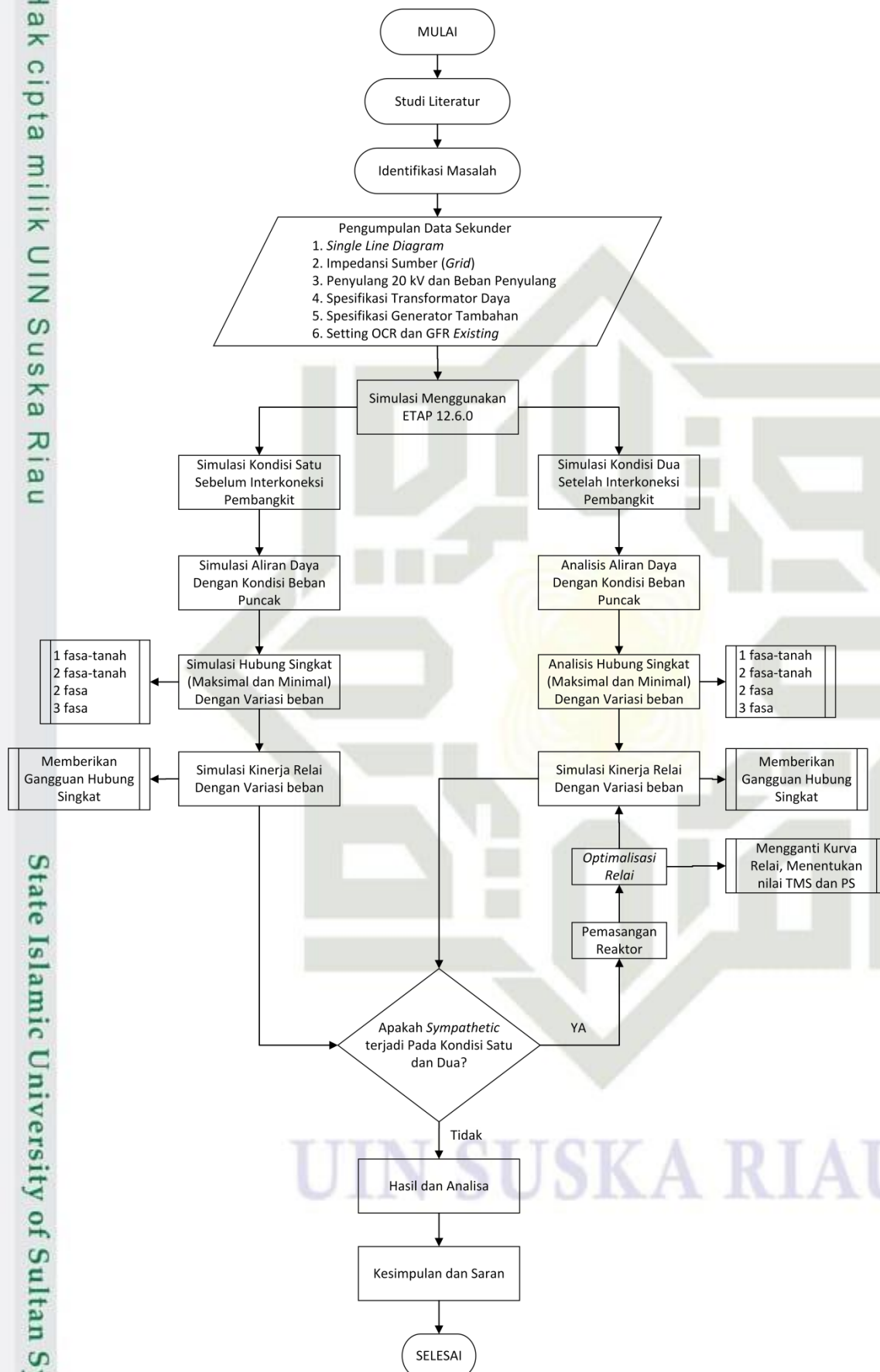
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.4 Studi Literatur

Dalam studi literatur melakukan pengumpulan sejumlah sumber referensi, terkait jurnal penelitian sebelumnya dan buku. Pada jurnal terkait akan dilakukan analisa mengenai teori yang dipakai, dan metode yang diterapkan. Pada buku akan diambil teori pendukung dalam penelitian.

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini terdiri dari langkah-langkah dalam melakukan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah

Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah *sympathetic trip* yang berakibat terhadap kontinuitas penyaluran energi listrik.

2. Membuat Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui kinerja relai dalam mengamankan jaringan yang terganggu akibat hubung singkat tanpa mempengaruhi relai penyulang sehat (*sympathetic trip*) dan cara pencegahanya.

3. Menentukan Judul

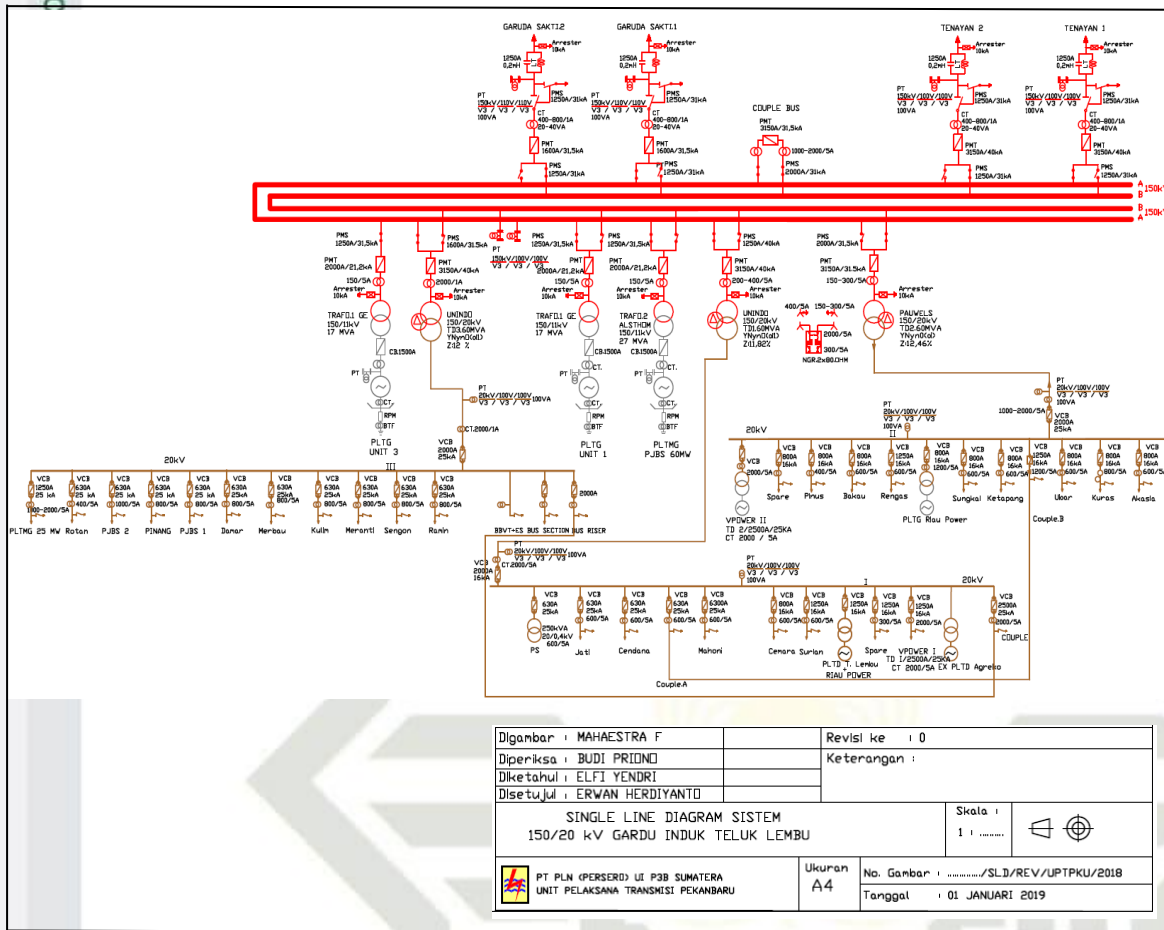
Sebagai kerangka dasar berfikir dalam suatu penelitian untuk menggambarkan penelitian secara garis besar, maka perlu direpresentasikan kedalam suatu judul. Berdasarkan permasalahan dan tujuan maka peneliti menetapkan judul **“Optimalisasi Relai OCR Dan GFR Di Gardu Induk Teluk Lembu Dalam Meminimalisir *Sympathetic Trip* Penyulang 20 kV”**.

3.6 Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder milik PT.PLN (PERSERO) Unit Penyaluran Transmisi (UPT) Pekanbaru dan pihak Gardu Induk Teluk Lembu. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian adalah *single line diagram*, penyulang 20 kV serta beban penyulang, spesifikasi transformator distribusi unit 2, spesifikasi pembangkit tambahan dan *setting* relai terpasang saat ini. Rincian data yang diambil adalah sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Single line diagram (SLD) GI Teluk Lembu



Gambar 3.2 SLD GI Teluk Lembu

Single line diagram (SLD) adalah data yang menggambarkan secara keseluruhan dari konfigurasi jaringan di GI Teluk Lembu. Data ini diperlukan sebagai acuan dalam membuat konfigurasi jaringan pada program ETAP 12.6.0. Pada SLD tersebut dapat dilihat bahwa terdapat tiga unit pembangkit utama yaitu dua unit PLTG berkapasitas 2 x 60 MW dan satu PLTMG berkapasitas 60 MW.

GI Teluk Lembu terbagi atas dua area, yaitu area pembangkit dan area distribusi. Pada area pembangkit memiliki Tiga unit transformator, yaitu unit 1 berkapasitas 17 MVA, unit 2 berkapasitas 17 MVA dan unit 3 berkapasitas 27 MVA. Ketiga transformator tersebut berfungsi menaikkan tegangan pembangkit 11 kV ke level transmisi 150 kV. Transmisi tersebut terinterkoneksi dengan GI Garuda Sakti dan GI Tenayan.

Pada area distribusi memiliki tiga unit transformator, ketiga unit tersebut memiliki kapasitas yang sama yaitu 60 MVA. Ketiga transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi 150 kV ke level tegangan distribusi 20 kV. Terlihat pada transformator distribusi unit 2 memiliki 8 penyulang 20kV, yaitu Penyulang Pinus, Bakau, Rengas, Sungkai, Ketapang, Ubar, Kuras dan Akasia.

2. Impedansi Sumber

Data impedansi sumber yang diambil berupa arus hubung singkat tiga fasa yang diambil berdasarkan data milik GI Teluk Lembu.

Tabel 3.1 Data Hubung Singkat *Grid* 150 kV

PT PLN (PERSERO) UIP3B SUMATERA								
DATA ARUS HUBUNG SINGKAT UPT PEKANBARU								
*Digsilent 07 Januari 2019								
Gardu Induk	Isc (Amp)		Positive Seq. (pu)		Negative Seq. (pu)		Zero Seq. (pu)	
	1phs	3phs	R1	X1	R2	X2	Ro	Xo
Garuda Sakti	14695	13422	0.00423	0.02891	0.00664	0.02961	0.00231	0.01922
Teluk Lembu	14028	13012	0.00414	0.02969	0.0064	0.03066	0.00243	0.02101
Bangkinang	6510	6907	0.00766	0.05676	0.01461	0.05792	0.00876	0.06185
Koto Panjang	9256	8759	0.00644	0.04459	0.01096	0.04578	0.00284	0.03398
Duri	6780	6946	0.00879	0.05628	0.01486	0.0556	0.00957	0.05738
Dumai	4273	4612	0.01218	0.08373	0.02265	0.08323	0.01229	0.09814
Bagan Batu	4106	4281	0.02203	0.08907	0.03311	0.08799	0.01483	0.0951
Kota Pinang	4194	4392	0.02263	0.08644	0.03353	0.08533	0.01585	0.09315
Balai Pungut	10907	9377	0.00483	0.04206	0.00782	0.04179	0.00127	0.02365
Tenayan	15440	14201	0.00325	0.02736	0.0053	0.02836	0.00206	0.01862
Pasir Putih	14390	13299	0.00417	0.02919	0.00666	0.0299	0.00259	0.02031
Pangkalan Kerinci	5833	7511	0.00685	0.05177	0.0143	0.0521	0.01907	0.09081
Perawang	13812	13107	0.00286	0.02984	0.00525	0.03076	0.00157	0.02307
New Garuda Sakti	10031	10820	0.00496	0.03596	0.00858	0.03634	0.00829	0.04163
Pasir Pangaraian	1926	2294	0.03388	0.16994	0.05751	0.1702	0.04614	0.25519
KID	2988	3424	0.01861	0.11233	0.03346	0.11156	0.02554	0.15348

Pada Tabel 3.1 diatas terlihat data yang dibutuhkan berupa nilai arus hubung singkat, reaktansi (X) dan resistansi(R). Data yang dibutuhkan milik gardu induk teluk lembu dengan arus hubung singkat 3 fasa 1.3012 A dan hubung singkat 1 fasa 14.028 A. Untuk data reaktansi dan resistansi dibutuhkan data urutan, yaitu urutan positif, negatif dan urutan nol.

3. Data Penyulang 20 kV Transformator Distribusi Unit 2

Data penyulang yang diambil meliputi nama penyulang, beban penyulang, jenis konduktor/kabel dan konduktor satu *section*.

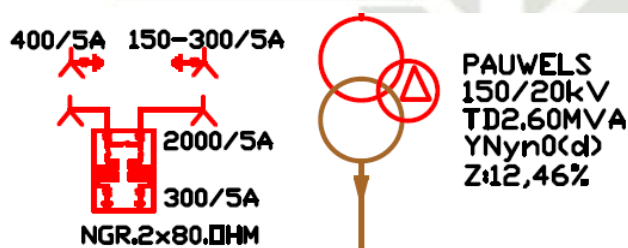
Tabel 3.2 Data Penyulang 20 kV

Nama Penyulang	Section 1	Panjang (KMS)	Konduktor		Beban Rata-Rata (Amper)
			Jenis	Penampang mm ²	Oktober 2018 - Oktober 2019
- F1. Bakau	PMT GI - GH Bandara	22	AAAC	240	214
- F2. Rengas	PMT GI - GH Setia Budi	2.65	AAAC	240	211
- F3. Sungkai	PMT GI - GH 08 Cempaka	3	AAAC	240	167
- F4. Ketapang	PMT GI - Recloser RGM	5	AAAC	240	161
- F5. Ubar	PMT GI - GH 57 Perindustrian	6	AAAC	240	139
- F6. Kuras	PMT GI - GH Lantai 9	6	AAAC	240	179
- F7. Akasia	PMT GI - Recloser Sidorejo	4.65	AAAC	240	199
- F8. Pinus	PMT GI - GH 102 Riau	3	AAAC	240	115
Total					1385

Pada tabel 3.2 diatas dapat dilihat bahwa setiap penyulang memiliki panjang satu *section* dan jumlah beban yang berbeda. Panjang *section* adalah jarak antara relai proteksi satu dengan relai proteksi berikutnya (jarak antar relai proteksi). Semua *section* satu memiliki luas penampang dan jenis konduktor yang sama yaitu AAAC 240 mm². Total beban yang dilayani oleh transformator unit 2 selama satu tahun (Oktober 2018 sampai Oktober 2019) adalah 1385 amper.

4. Spesifikasi Transformator Unit 2

Spesifikasi transformator merupakan suatu data yang menunjukkan merek, kapasitas, tegangan kerja dan impedansi suatu transformator.



Gambar 3.3 Spesifikasi Transformator

Pada gambar diatas dapat dilihat data transformator dengan merek PAUWELS, berkapasitas 60 MVA, tegangan kerja primer/sekunder 150 kV/ 20 kV dan impedansi 12,46%.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Spesifikasi Pembangkit Tambahan

Data yang dibutuhkan dalam input data yaitu kapasitas MW dan tegangan nominal dari generator. Adapun data tersebut yaitu 2 x 20 MW dengan tegangan 11 kV.

6. Data *setting* relai OCR/GFR.

Data *setting* relai adalah data *setting* saat ini, data yang dibutuhkan meliputi data rasio Current Transformer (CT), pickup relai OCR/GFR dan waktu kerja relai.

Tabel 3.3 Data *Setting* Relai OCR/GFR GI Teluk Lembu

Proteksi	Relai	Setting Eksisting
OCR/GFR Sisi 150 kV	SCHNEIDER MICOM P121	CT : 300 / 5 A Inom Trf : 230,94 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 277 A Iset Sekunder : 4,62 A Tap Setting : 0,923 X InCT sek TMS : 0,350 SI-IEC <u>Momen/High set OCR</u> Blocked <u>GFR</u> Iset Primer : 92 A Iset Sekunder : 1,53 A Tap Setting : 0,307 x InCT sek TMS : 0,550 SI-IEC <u>Momen/High set GFR</u> Blocked
OCR/GFR SISI 20 kV	SIEMENS REYROLLE	CT : 2000 / 5 A Inom Trf : 1.732 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 2000 A Iset Sekunder : 5 A Tap Setting : 1 X InCT sek TMS : 0,280 SI-IEC <u>Momen/High set OCR</u> Blocked <u>GFR</u> Iset Primer : 100 A Iset Sekunder : 0,25 A Tap Setting : 0,05 X InCT sek TMS : 0,23 SI-IEC <u>Momen/High set GFR</u> Blocked

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 3.3 Data *Setting* Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan)

Proteksi	Relai	Setting Eksisting
OCR/GFR P. SUNGKAI	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set OCR</u> Iset Primer : 3500 A Iset Sekunder : 21,875 A Tap Setting : 4,375 x InCT sek TMS : 0 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite
OCR/GFR P. RENGAS	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set OCR</u> Iset Primer : 3500 A Iset Sekunder : 21,875 A Tap Setting : 4,375 x InCT sek TMS : 0 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite

Tabel 3.3 Data *Setting* Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan)

Proteksi	Relai	Setting Eksisting
OCR/GFR P. BAKAU	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set OCR</u> Iset Primer : 3500 A Iset Sekunder : 21,875 A Tap Setting : 4,375 x InCT sek TMS : 0 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite
OCR/GFR P. KETAPANG	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set OCR</u> Iset Primer : 3500 A Iset Sekunder : 21,875 A Tap Setting : 4,375 x InCT sek TMS : 0 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 3.3 Data *Setting* Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan)

Proteksi	Relai	Setting Eksisting
OCR/GFR P. UBAR	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set OCR</u> Iset Primer : 3500 A Iset Sekunder : 21,875 A Tap Setting : 4,375 x InCT sek TMS : 0 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite
OCR/GFR P. KURAS	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set OCR</u> Iset Primer : 3500 A Iset Sekunder : 21,875 A Tap Setting : 4,375 x InCT sek TMS : 0 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite

Tabel 3.3 Data *Setting* Relai OCF/GFR GI Teluk Lembu (Lanjutan)

Proteksi	Relai	Setting Eksisting
OCR/GFR P. PINUS BANDARA	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite
OCR/GFR P. AKASIA	SIEMENS REYROLLE	CT : 800 / 5 A InCT sekunder : 5 A <u>OCR</u> Iset Primer : 480 A Iset Sekunder : 3 A Tap Setting : 0,6 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>GFR</u> Iset Primer : 28 A Iset Sekunder : 0,175 A Tap Setting : 0,035 x InCT sek TMS : 0,200 definite <u>Momen/High set GFR</u> Iset Primer : 240 A Iset Sekunder : 1,5 A Tap Setting : 0,03 x InCT sek TMS : 0 definite

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

3.7 Tahap Validasi

Tahapan validasi merupakan proses membandingkan antara hasil simulasi ETAP 12.6.0 dengan perhitungan manual. Untuk langkah validasi sendiri, peneliti membuat rangkaian sederhana, kemudian melakukan perhitungan manual dan mensimulasikan dengan ETAP 12.6.0. Sehingga apabila terdapat kecocokan atau selisih yang dapat ditoleransi dari hasil hitung manual dengan simulasi, maka software ETAP 12.6.0 dapat digunakan dan berlanjut pada tahapan berikutnya. Adapun hasil yang dibandingkan yaitu perhitungan gangguan hubung singkat. Hasil validasi dapat dilihat pada lampiran A.



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.8 Simulasi ETAP 12.6.0

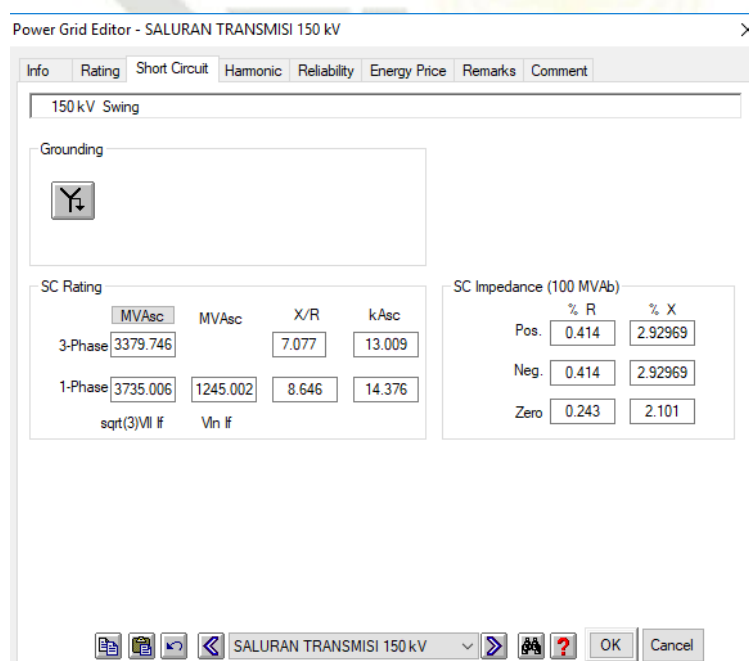
Dalam simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 tahap awal yang dilakukan adalah input data jaringan sesuai dengan data sekunder dari pihak PLN. Kemudian dalam simulasi ini dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi sebelum dan sesudah interkoneksi pembangkit tambahan. Adapun analisis yang dilakukan pada dua kondisi ini adalah analisis aliran daya, analisis gangguan hubung singkat dan analisis *sympathetic trip*. Sebagai rincian dalam simulasi ini peneliti menjabarkannya sebagai berikut :

3.8.1 Input Data Jaringan

Adapun langkah dalam menentukan parameter jaringan yaitu sebagai berikut:

- Menentukan Impedansi Sumber

Dalam hal ini, peneliti tidak harus menggambar *single line* secara keseluruhan karena impedansi sumber dapat diwakilkan oleh arus hubung singkat 3 fasa pada *Grid*. Dengan menuliskan nilai hubung singkat maka dapat diketahui impedansi sumber. Karena besar kecilnya nilai impedansi sumber sangat berpengaruh terhadap nilai hubung singkat. Oleh karena itu, peneliti cukup menggambar SLD transformator unit 2.



SC Rating			
	MVA _{sc}	X/R	kA _{sc}
3-Phase	3379.746	7.077	13.009
1-Phase	3735.006	1245.002	14.376
	sqrt(3)V _{ll} If	V _{ln} If	

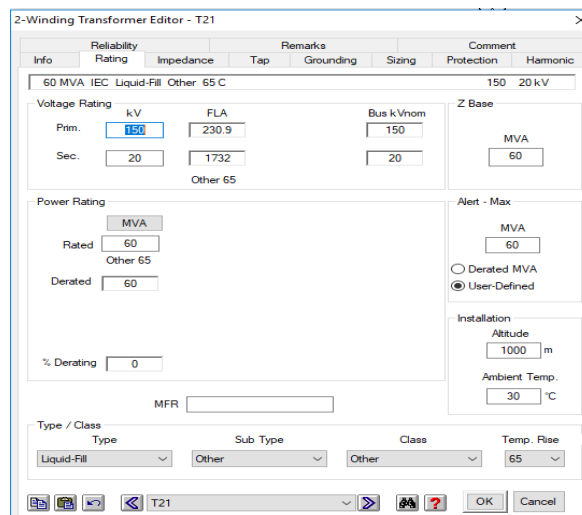
SC Impedance (100 MVA _b)		
	% R	% X
Pos.	0.414	2.92969
Neg.	0.414	2.92969
Zero	0.243	2.101

Gambar 3.4 Input Data Grid

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2. *Input data transformator*

Data tersebut meliputi data tegangan, kapasitas dan grounding. Grounding adalah sistem pentanahan titik netral pada transformator.

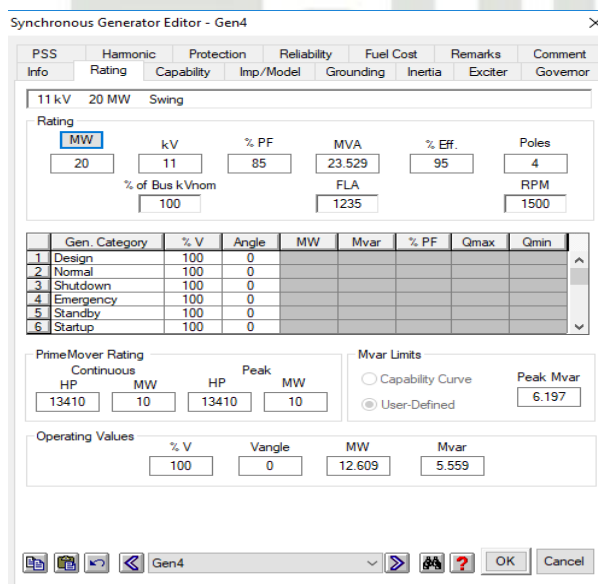


Gambar 3.5 *Input Data Transformator*

Pada tahapan ini, peneliti memasukkan data transformator berdasarkan spesifikasi terpasang. Adapun data yang di masukkan adalah tegangan nominal primer/sekunder 150/20 kV, kapasita 60 MVA, impedansi 12,55% dan koneksi belitan pada trafo.

3. *Input Data Generator*

Pada tahapan ini, peneliti measukkan data sesuai spesifikasi generator tambahan diantaranya kapasitas daya (MW) dan tegangan nominal/tegangan kerja.



Gambar 3.6 *Input Data Generator*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

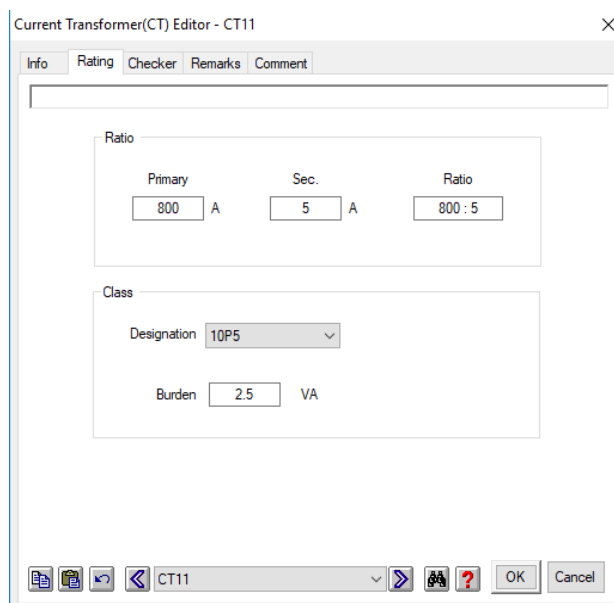
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. *Input Data Trafo Arus*

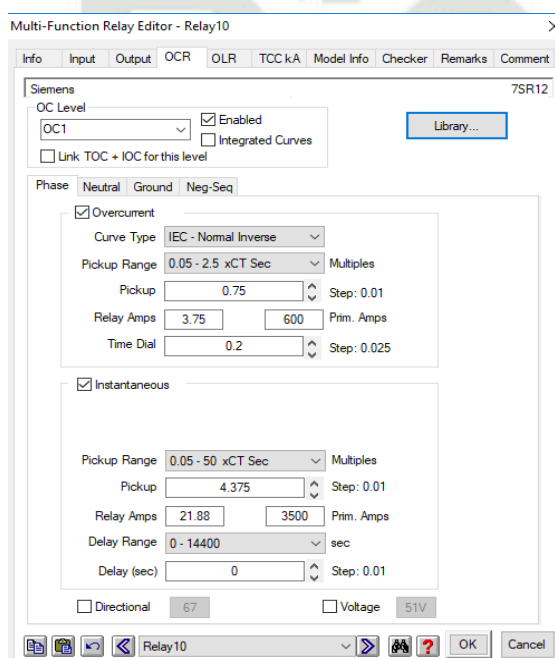
Berikutnya yaitu memasukkan nilai rasio trafo arus atau *Current Transformer (CT)*, rasio tersebut membandingkan besar arus jaringan dengan arus yang terbaca oleh relai.



Gambar 3.7 *Input Data CT*

5. *Input Data Setting Relai*

Pada tahapan ini peneliti memasukkan data setting relai, data tersebut meliputi merek dan jenis relai, pickup, kurva kerja dan waktu kerja relai.



Gambar 3.8 *Input Data Setting Relai*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

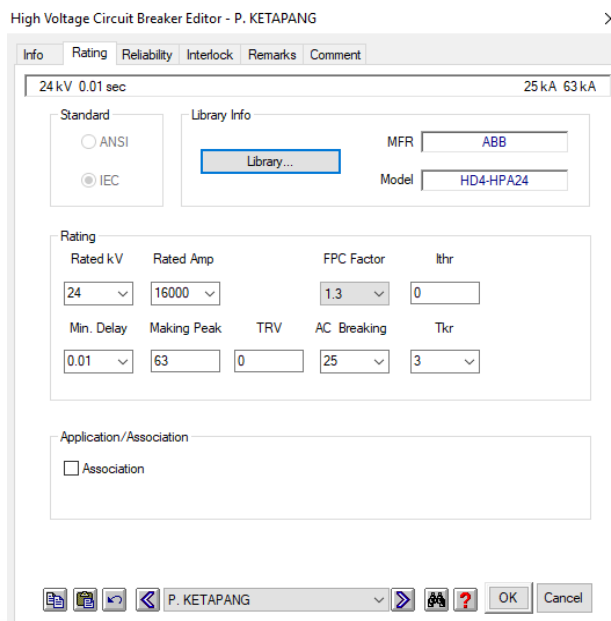
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

6. *Input Data PMT*

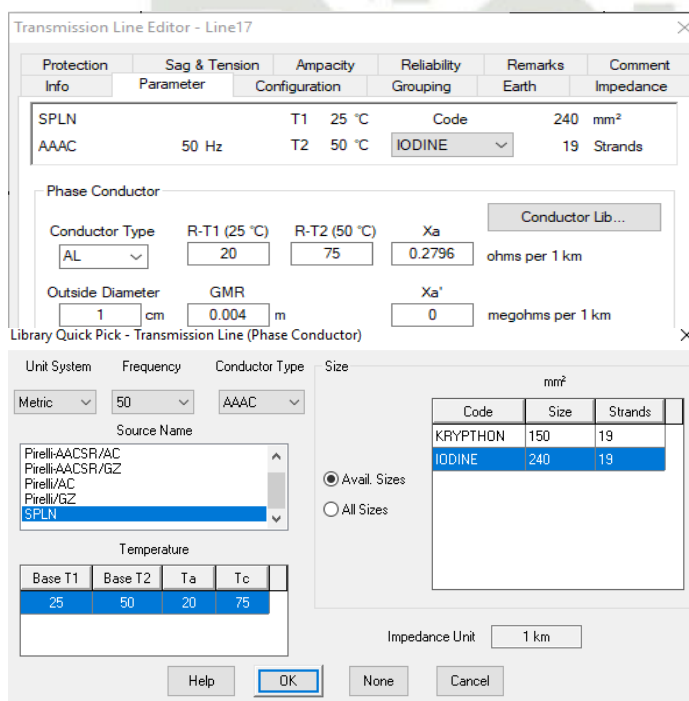
Data pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB). Data tersebut meliputi merek, model, tegangan, *rating* arus dan waktu kerja CB.



Gambar 3.9 *Input Data CB*

7. *Input Data Konduktor*

Data *input* konduktor terdiri dari luas penampang, merek, jenis konduktor dan panjang konduktor (km).

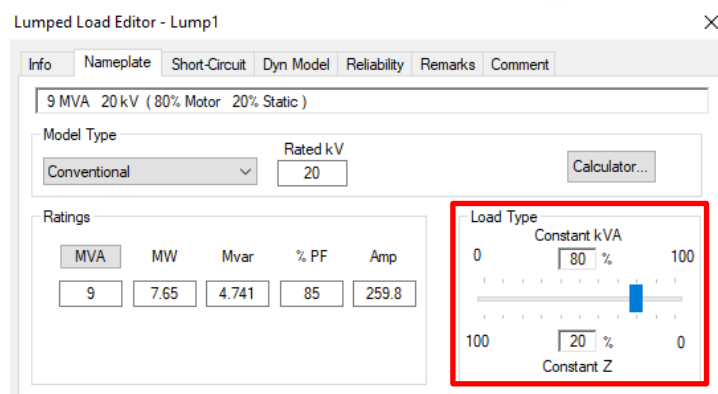


Gambar 3.10 *Input Data Konduktor*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

8. *Input Data Beban*

Pada tahap ini, peneliti cukup memasukkan data beban yang terdiri dari data arus dan *rating* tegangan. Dalam simulasi, peneliti melakukan variasi beban berupa perbandingan persentase antara beban statis dan dinamik. Hal ini dikarenakan tidak ada data mengenai persentase kedua jenis beban.



Gambar 3.11 *Input Data Beban*

Dari gambar 3.11 diatas dapat dilihat beberapa data yang dibutuhkan dalam input data beban. Adapun data yang dibutuhkan data arus beban (Amp), selain itu faktor daya yang dikehendaki adalah 85%. Pada bagian gambar yang di garis merah, merupakan menu untuk mengatur variasi beban. Variasi berupa persentase beban statis dan beban motor dengan arus beban konstan.

3.8.2 Simulasi Kondisi Satu

Pada kondisi ini peneliti menganalisis sistem sebelum interkoneksi pembangkit tambahan. Adapun rincian analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

3.8.2.1 Simulasi Aliran Daya

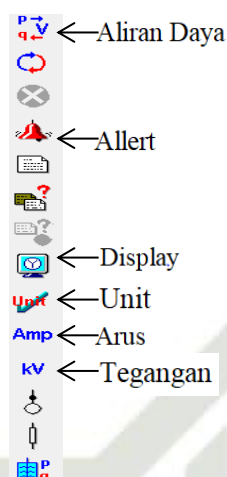
Analisis aliran daya dilakukan pada kondisi sebelum interkoneksi pembangkit tambahan. Analisis aliran daya bertujuan untuk mengetahui persentase pembebanan pada transformator unit 2, arus beban dan tegangan setiap bus. Adapun menu pilihan dalam simulasi aliran daya yaitu sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.12 Menu Simulasi Aliran Daya

Menu pada simulasi aliran daya masing-masing memiliki fungsi yang berbeda-beda, adapun fungsi menu dijelaskan berikut ini:

1. Aliran Daya, menu untuk menjalankan simulasi aliran daya.
2. Alert, menu untuk menampilkan komponen yang mengalami kondisi kritis.
3. Display, menu untuk mengatur tampilan layar.
4. Unit, menu untuk menampilkan satuan unit (amper, volt, watt dan lain-lain).
5. Arus, menu untuk menampilkan nilai arus.
6. Tegangan, menu untuk menampilkan nilai tegangan.

Hasil simulasi akan dianalisis, apakah pembebanan pada transformator masih dalam toleransi yang diizinkan yaitu 80 % dari kemampuannya. Selanjutnya akan dibandingkan arus pembebanan setiap penyulang dengan kemampuan hantar arus (KHA) pada kabel. Diharapkan tidak ada penyulang yang mengalami arus pembebanan melebihi KHA kabel atau konduktor.

3.8.2.2 Simulasi Gangguan Hubung Singkat

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besar arus hubung singkat yang dapat terjadi pada tiap jenis gangguan hubung singkat. Simulasi ini melakukan variasi persentase beban statis dengan beban motor. Tujuannya untuk mengetahui kontribusi beban motor terhadap besar arus hubung singkat. Jenis hubung singkat yang diberikan adalah 1 fasa ke tanah, 2 fasa ke tanah, fasa ke fasa dan 3 fasa. Adapun simulasi ini terdiri dari beberapa langkah diantaranya sebagai berikut :

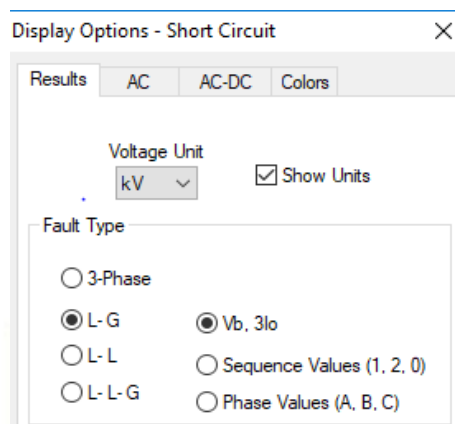
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Menentukan jenis gangguan hubung singkat, yaitu hubung singkat 1 fasa-tanah / *Line-Ground* (L-G), 2 fasa-tanah / *Line-Line-Ground* (L-L-G), fasa-fasa / *Line-Line* (L-L) dan 3-fasa (3-Phase).



Gambar 3.13 Menentukan Jenis Hubung Singkat Kondisi Satu

2. Mengetahui besarnya arus hubung singkat

Pada tahapan ini, memberikan gangguan pada jarak terdekat dan terjauh pada saluran. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat maksimal (0% dari panjang penyulang) dan minimal (100% panjang penyulang).

Setelah diketahui besar arus hubung singkat, maka dapat dianalisis apakah pemutus tenaga (PMT) mampu memutus arus hubung singkat. Pemutus tenaga akan bekerja dengan baik apabila memiliki *rating* diatas arus hubung singkat.

3.8.2.3 Simulasi Kinerja Relai

Setelah memberikan gangguan hubung singkat, maka tahapan terakhir adalah analisis kinerja relai. Analisis kinerja relai dilakukan dengan memberikan gangguan hubung singkat. Dalam simulasi ini juga dilakukan variasi beban (persentase beban statis dan dinamis). Jika terdapat relai yang bekerja diluar daerah pengamanannya, maka sistem terindikasi *sympathetic trip*. Adapun tahapan simulasi ini adalah sebagai berikut :

- Menentukan persentase beban statis dengan beban motor dengan kelipatan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100%. Artinya, apabila beban statis 80% maka beban motor 20% dan seterusnya.
- Setiap persentase yang telah ditentukan, kemudian memberikan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa ke tanah, fasa ke fasa dan 3 fasa secara

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

bergantian. Begitupun untuk persentase berikutnya dilakukan simulasi yang sama.

- Menganalisis kinerja masing masing relai, apakah terdapat relai yang merespon saat terjadi gangguan di penyulang lain. Jika iya, maka *sympathetic trip* masih dapat terjadi pada kondisi sistem saat ini.

3.8.3 Simulasi Kondisi Dua

Pada kondisi ini peneliti menganalisis sistem setelah interkoneksi pembangkit tambahan. Adapun rincian analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

3.8.3.1 Simulasi Aliran Daya

Studi aliran daya dilakukan pada kondisi setelah interkoneksi pembangkit tambahan. Studi aliran daya bertujuan untuk mengetahui besarnya arus yang mengalir disetiap titik percabangan menuju beban. Selain itu, tujuan lainnya adalah untuk mengetahui pembebanan pada transformator unit 2 serta besar tegangan setelah interkoneksi.

Hasil simulasi akan dianalisis, apakah pembebana pada transformtor masih dalam toleransi yang diizinkan yaitu 80 % dari kemampuannya. Selanjutnya akan dibandingkan arus pembebana setiap penyulang dengan kemampuan hantar arus (KHA) pada kabel. Diharapkan tidak ada penyulang yang mengalami arus pembebanan melebihi KHA kabel atau konduktor.

3.8.3.2 Simulasi Gangguan Hubung Singkat

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besar arus hubung singkat yang dapat terjadi pada tiap jenis gangguan hubung singkat. Simulasi ini melakukan variasi persentase beban statis dengan beban motor. Tujuanya untuk mengetahui kontribusi beban motor terhadap besar arus hubung singkat. Jenis hubung singkat yang diberikan adalah 1 fasa ke tanah, 2 fasa ke tanah, fasa ke fasa dan 3 fasa. Adapun simulasi ini terdiri dari beberapa langkah diantaranya sebagai berikut :

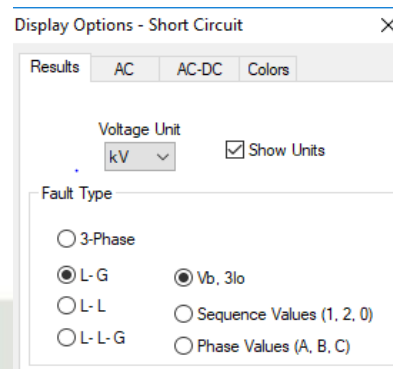
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Menentukan jenis gangguan hubung singkat, yaitu hubung singkat 1 fasa-tanah / *Line-Ground* (L-G), 2 fasa-tanah / *Line-Line-Ground* (L-L-G), fasa-fasa / *Line-Line* (L-L) dan 3-fasa (3-Phase).



Gambar 3.14 Menentukan Jenis Hubung Singkat Kondisi dua

Mengetahui besarnya arus hubung singkat

Pada tahapan ini, memberikan gangguan pada jarak terdekat dan terjauh pada saluran. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat maksimal (0% dari panjang penyulang) dan minimal (100% panjang penyulang).

Setelah diketahui besar arus hubung singkat, maka dapat dianalisis apakah pemutus tenaga (PMT) mampu memutus arus hubung singkat. Pemutus tenaga akan bekerja dengan baik apabila memiliki *rating* diatas arus hubung singkat.

3.8.3.3 Simulasi Kinerja Relai

Setelah memberikan gangguan hubung singkat, maka tahapan terakhir adalah analisis kinerja relai. Jika terdapat relai yang bekerja diluar daerah pengamananya, maka sistem terindikasi *sympathetic trip*. Adapun langkah analisis ini adalah :

- Analisis kinerja relai GFR dengan memberikan gangguan fasa ketanah (1 fasa ke tanah dan 2 fasa ke tanah). Gangguan ini diberikan pada titik terdekat dan titik terjauh dalam satu *section* tiap penyulang 20 kV secara bergantian.
- Analisis kinerja relai OCR dengan memberikan gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan tiga fasa tiap penyulang 20 kV secara bergantian.
- Menganalisis kinerja masing masing relai, apakah terdapat relai yang merespon saat terjadi gangguan di penyulang lain. Jika iya, maka *sympathetic trip* masih dapat terjadi pada kondisi sistem saat ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.9 Rekomendasi Solusi

Dalam mengatasi *Sympathetic Trip*, ada beberapa langkah untuk mencegahnya. Adapun urutan langkah tersebut antara lain :

3.9.1 Pemasangan Reaktor Pembatas Arus Hubung Singkat

Besarnya nilai arus hubung singkat menjadi target awal dalam analisis ini, dikarenakan salah satu penyebab *sympathetic trip* adalah arus hubung singkat yang besar. Untuk memperkecil arus hubung singkat, peneliti harus menentukan ukuran reaktor yang tepat. Ada beberapa langkah untuk menentukan ukuran reaktor yang tepat diantaranya :

1. Mengetahui arus hubung singkat awal dan arus hubung singkat yang diinginkan setelah pemasangan reaktor.
2. Menentukan kapasitas reaktor berdasarkan persamaan 2.12.

Setelah melakukan pemasangan reaktor, perlu meninjau ulang jatuh tegangan ujung saluran dengan simulasi aliran daya. Jatuh tegangan mengacu pada standar PLN yaitu 10%, dalam penelitian ini jatuh tegangan yang diinginkan 5% dari tegangan sistem 20 kV.

3.9.2 Optimalisasi Relai

Dalam optimalisasi relai, langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut[41]:

1. Menentukan *setting* PS dengan menentukan arus beban masing-masing penyulang. Arus beban dibatasi oleh kemampuan hantar arus (KHA) pada konduktor penyulang. Dalam menentukan arus beban, total daya tersedia diambil 90% dan kemudian dibagi 8 penyulang. Hal ini bertujuan agar dengan beban penuh sistem tidak terbebani 100%.
2. Menentukan nilai TMS, mempertimbangkan selisih waktu operasi relai incoming 20 kV dengan outgoing 20 kV sebesar 0,25 detik.
3. Tahap terakhir dalam optimalisasi relai, peneliti merubah karakteristik kerja relai dengan mengganti kurva kerja. Merubah kurva relai didasarkan atas cara kerja masing masing kurva relai. Dalam solusi ini penulis memilih kurva *inverse* sebagai cara optimalisasi relai OCR dan GFR.

Kurva *inverse* menjadi pilihan dalam *setting* relai dikarenakan kirva *inverse* lebih cocok terhadap beban-beban motor. Dikarenakan penyulang di Gardu Induk Teluk Lembu

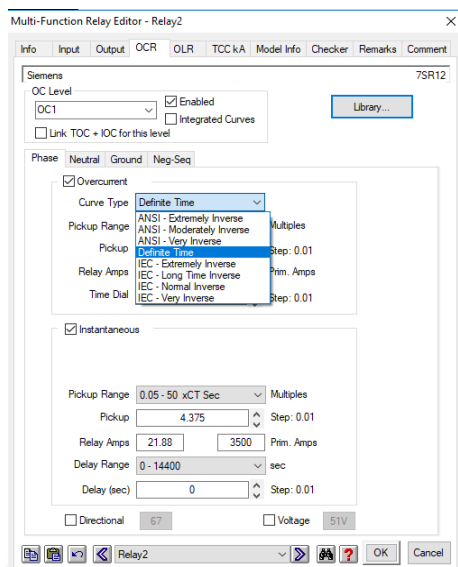
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

melayani beban statis dan motor, maka pemilihan kurva *inverse* menjadi pilihan yang tepat.



Gambar 3.15 Pemilihan Kurva Relai Arus Lebih

3.10 Hasil dan Analisa

Hasil merupakan keluaran dari proses pengolahan data dalam penelitian sesuai dengan tujuan yang telah dibuat. Sedangkan analisa adalah mendeskripsikan hasil pengolahan data agar lebih mudah untuk dipahami.

3.11 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman dari seluruh hasil penelitian dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Saran merupakan suatu usulan atau masukan yang bersifat membangun untuk dijadikan dasar pengembangan penelitian selanjutnya.

UIN SUSKA RIAU

3.12 Jadwal Penelitian

Berikut ini adalah jadwal penelitian yang telah direncanakan dalam penyusunan proposal tugas akhir.

Tabel 3.4 Jadwal Penelitian

Bulan dan Tahun	Minggu	KEGIATAN						
		Menentukan judul dan studi literatur	Penyusunan proposal tugas akhir dan bimbingan	Pengambilan data Sekunder	Praseminar proposal tugas akhir	Seminar proposal tugas akhir	Revisi proposal	Sidang akhir
September_2019	Ke-1	√						
	Ke-2	√						
	Ke-3	√						
	Ke-4	√						
Oktober_2019	Ke-1		√	√				
	Ke-2		√					
	Ke-3		√					
	Ke-4		√	√				
November_2019	Ke-1		√					
	Ke-2			√				
	Ke-3		√					
	Ke-4		√					
Desember_2019	Ke-1		√	√				
	Ke-2		√	√				
	Ke-3			√				
	Ke-4		√	√				
Januari_2020	Ke-1		√					
	Ke-2			√				
	Ke-3		√	√				
	Ke-4		√					
Februari_2020	Ke-1		√					
	Ke-2		√					
	Ke-3		√					
	Ke-4		√					
Maret_2020	Ke-1		√					
	Ke-2		√					
	Ke-3							
	Ke-4							
April_2020	Ke-1							
	Ke-2				√			
	Ke-3							
	Ke-4							
Mei_2020	Ke-1							
	Ke-2					√		
	Ke-3						√	
	Ke-4						√	
Juni_2020	Ke-1						√	
	Ke-2						√	
	Ke-3						√	
	Ke-4							√

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Optimalisasi Relai OCR dan GFR di Gardu Induk Teluk Lembu Dalam Meminimalisir *Sympathetic Trip* Penyulang 20 kV dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Simulasi aliran daya menunjukkan bahwa interkoneksi pembangkit dapat mengurangi tingkat pembebanan pada transformator unit dua. setelah interkoneksi, tingkat pembebanan menurun dari 75,46% dmenjadi 62,11%.
2. Arus hubung singkat semakin besar dengan adanya interkoneksi pembangkit, hal ini dikarenakan ada arus kontribusi dari unit pembangkit. Selain itu beban motor juga berkontribusi terhadap arus hubung singkat.
3. Kinerja Relai OCR dan GFR dengan *setting* kurva *definite* kurang optimal dengan adanya variasi beban. Dikarenakan terjadi *sympathetic trip* pada variasi beban motor $\geq 30\%$.
4. Dikarenakan beban motor dapat berkontribusi terhadap arus gangguan, maka pemasangan reaktor harus dipertimbangkan. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi arus gangguan yang lebih besar saat beban motor meningkat.
5. Didapat *Setting* optimal relai yaitu TMS=0,26 dan PS = 0,6086 dengan kurva standar *inverse*. Dengan *setting* tersebut *sympathetic trip* tidak terjadi lagi dengan variasi beban motor sampai 100%.

5.2 Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan perubahan konfigurasi jaringan yang mungkin terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DIRREN, *RUPTL PT PLN (PERSERO) 2018-2027*. Jakarta, 2018.
- [2] M. Imron, "Inilah Daftar Kabupaten dan Kota Terbesar di Provinsi Riau Indonesia," *www.kuwaluhan.com*, 2018. [Online]. Available: https://www.kuwaluhan.com/2018/08/inilah-daftar-kabupaten-dan-kota_27.html. [Accessed: 10-Jun-2020].
- [3] M. Syaiful, "Gardu Induk Kota Pekanbaru," 2019.
- [4] 60354, "Loading guide for oil-immersed power transformers," in *61010-1 © Iec:2001*, 2006, p. 13.
- [5] R. Sutjipto, A. D. Novfowan, and R. Duanaputri, "Studi Perencanaan Peningkatan Kinerja Trafo Distribusi Dengan Relokasi Antara 2 Buah Trafo," *J. Eltek*, vol. 17, no. 2, p. 69, 2019.
- [6] Kurniawan and Firdaus, "Studi Analisa Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Terhadap Susut Umur Tranformator Daya Pada Gardu Induk Garuda Sakti," *Jom FTEKNIK*, vol. 3, pp. 1–6, 2016.
- [7] D. Y. Sukma, "Pengaruh Masuknya Penambahan Pembangkit Baru kedalam Jaringan 150 kV pada Kapasitas Circuit Breaker," vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [8] E. Yusuf and A. D. Mulyadi, "Kajian Interkoneksi PLTM Kumbi 1 . 300 KW pada Sistem Lombok," vol. 9, no. November, pp. 93–101, 2019.
- [9] V. Beloti *et al.*, *Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Comercial Power System*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2011.
- [10] Aslimetri, Ganefri, and Z. Hamdi, *Teknik Transmisi*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [11] H. Wang, "The fault causes of overhead lines in distribution network," *MATEC Web Conf.*, vol. 61, no. 2016, 2016.
- [12] S. Hay, Mustamin, Tambi, S. N. Jaya, and W. Zulkaidah, "Evaluasi kemampuan pemutus tenaga dan kabel penghantar 20 kv dengan masuknya pembangkit baru sebesar 10 mw studi kasus sistem kelistrikan kota kendari," *SNT2BKL*, pp. 393–398, 2019.
- [13] S. Tongsrichantra, T. Suwanasri, and C. Suwanasri, "System Study and Fault Level Reduction Techniques for a Small Scale Power Plant in Thailand," *GMSARN Int. J.*, vol. 3, pp. 73–80, 2009.
- [14] M. Farrokhifar, R. Esmaeilzadeh, M. Heydari, and A. R. Milani, "A study on practical methods to decrease short circuit level in transmission grids," *IECON Proc. (Industrial*

Electron. Conf., no. October, pp. 1962–1967, 2013.

- [15] E. S. Calmara, “Koordinasi Proteksi Sebagai Upaya Pencegahan Terjadinya Sympathetic Trip Di Kawasan Tursina, Pt. Pupuk Kaltim,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 135–141, 2016.
- [16] V. Mariappan, M. R. Ahamed, and B. N. Al Thehli, “A comprehensive analysis and solution for sympathetic tripping in distribution network,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2013, no. 615 CP, pp. 10–13, 2013.
- [17] A. Wadood *et al.*, “An optimized protection coordination scheme for the optimal coordination of overcurrent relays using a nature-inspired root tree algorithm,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 9, 2018.
- [18] ALSTOM, *Network Protection & Automation Guide*. 2002.
- [19] Y. Nakhoda, A. Krismanto, and M. Usmanto, “Analisa Koordinasi Rele Pengaman Transformator Pada Sistem Jaringan Kelistrikan di PLTD Buntok,” *Elektrika*, vol. 1, no. 1, pp. 39–46, 2017.
- [20] M. A. Auliq, “Simpatetik Trip Pmt Cell 20 Kv Pada Gardu Induk Lumajang,” pp. 167–174, 2019.
- [21] K. Shalih, D. Y. Sukma, and E. Ervianto, “Sebagai Pembatas Arus Hubung Singkat Di Pt . Pulp and Paper,” vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2015.
- [22] I. N. Upanayana, I. G. D. Arjana, and I. W. A. Wijaya, “Pemasangan DGR (Directional Ground Relay) untuk Mengatasi Gangguan Sympathetic Trip pada GIS Bandara Penyulang Ngurah Rai I dan Ngurah Rai II,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 118, 2017.
- [23] P. Gusti, I. Arka and N. Mudiana, “Studi Pengaruh Pemasangan Sistem Proteksi Rele Terhadap Kemungkinan Gangguan Sympathetic Tripping Pada Penyulang,” *J. Log.*, vol. 13, no. 3, pp. 142–147, 2013.
- [24] S. Trip and I. Sympathetic, “UNTUK MEMINIMALKAN GANGGUAN SYMPATHETIC TRIP PADA PENYULANG BUNISARI -,” vol. 15, no. 2, 2016.
- [25] S. dkk Muslim, *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. 2008.
- [26] S. S Hutaeruk, *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1993.
- [27] F. A. Short, *Electrical distribution handbook Short*, no. C. 2004.
- [28] S. Muslim, Joko, and R. P. Winarti, *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*, 3rd ed., vol. 53,

- no. 9. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2013.
- [29] Aslimetri, Genefri, and Z. Hamdi, *Pembangkit Tenaga Listrik*, 2nd ed., vol. 53, no. 9. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [30] R. Hasibuan, Abdurrozzaq Yusmartato, "Penentuan Nilai Arus Pemutusan Pemutus Tenaga Sisi 20 KV pada Gardu Induk 30 MVA Pangururan," *J. Electr. Technol.*, vol. 1099, no. 3, pp. 53–58, 2018.
- [31] B. Baldwin, "Significance of K factor in Circuit Breaker Ratings," 2005.
- [32] PT. Sutrakabel Intimandiri, "Sutrado Kabel Product Catalogue," 2015.
- [33] P. P. (PERSERO), "SPLN 64 : 1995 Impedansi Kawat Penghantar," no. mm, pp. 20–22, 1995.
- [34] A. Brown, "SYMMETRICAL COMPONENTS," *Interactions*, vol. 9, no. 2, 2002.
- [35] J. M. Gers and E. J. Holmes, "Calculation of short-circuit currents," *www.schneider-electric.com*, 2011. [Online]. Available: https://www.studiedc.dk/cahiers_techniques/Calculation_of_short_circuit_currents.pdf. [Accessed: 01-Jan-2020].
- [36] I. A. Bhatia, "Electrical Fundamentals - Reactance and Impedance," vol. 239, 2012.
- [37] A. Mohammed, *Power Systems Engineering Per Unit*. 2018.
- [38] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. J. Overbye, *Power System Analysis and Design*, 5th ed. 2012.
- [39] Y. Yu, I. Minceff, D. W. Hamilton, and G. W. Bottrell, "Motor Contribution During Three-Phase Short Circuit Fault," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-18, no. 6, pp. 593–599, 1982.
- [40] SPLN 1:1995, "Standar-Standar Tegangan," in *Standar Perusahaan Listrik Negara*, Jakarta: P.T PLN (PERSERO), 1995, p. 5.
- [41] Aslimetri, Genefri, and Z. Hamdi, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*, 3rd ed., vol. 53, no. 9. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2008.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan atau memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

[42] J. M. Gers and E. J. Holmes, "Protection of Electricity Distribution Network," in *IET Conference Publications*, 2nd ed., London, United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology, 2005, p. 71.

[43] M. Tawfeeq, "Power System Protection," 2005, p. 117.

[44] B. Wirawan, "Setting Koordinasi Over Current Relay pada Trafo 60 MVA 150 / 20 Kv dan Penyulang 20 KV," vol. 18, no. 3, pp. 134–140, 2014.

[45] A. F. Slewa, "Protective Relay Principles," CRC Press, 2010, p. 148.

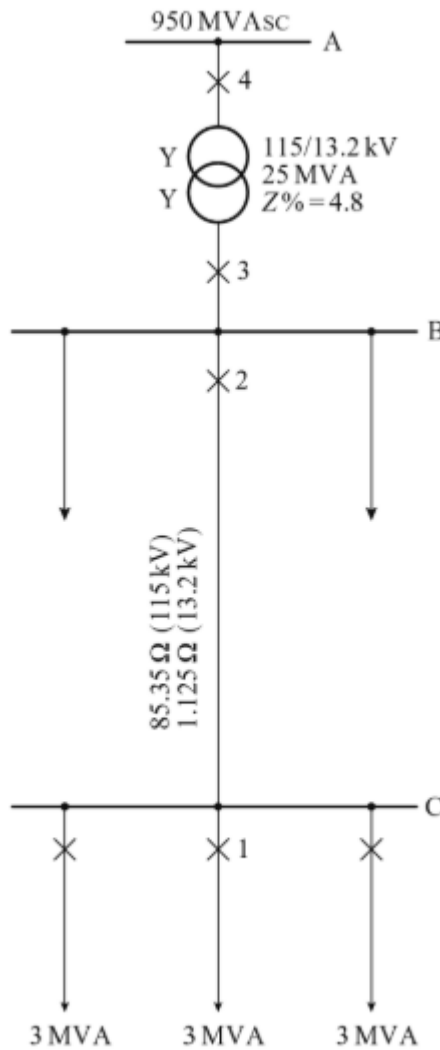
[46] E. 12.6, "ETAP 12.6 User Guide ®," *ETAP 12.6 User Guid. Oper.*, no. 10002889, 2014.

[47] A. S. Abdelhay and Om P. Malik, "Electric Distribution Systems," in *Power Engineering*, 2nd ed., M. E. Elhawary, Ed. IEEE PRESS, p. 179.

LAMPIRAN A

VALIDASI APLIKASI

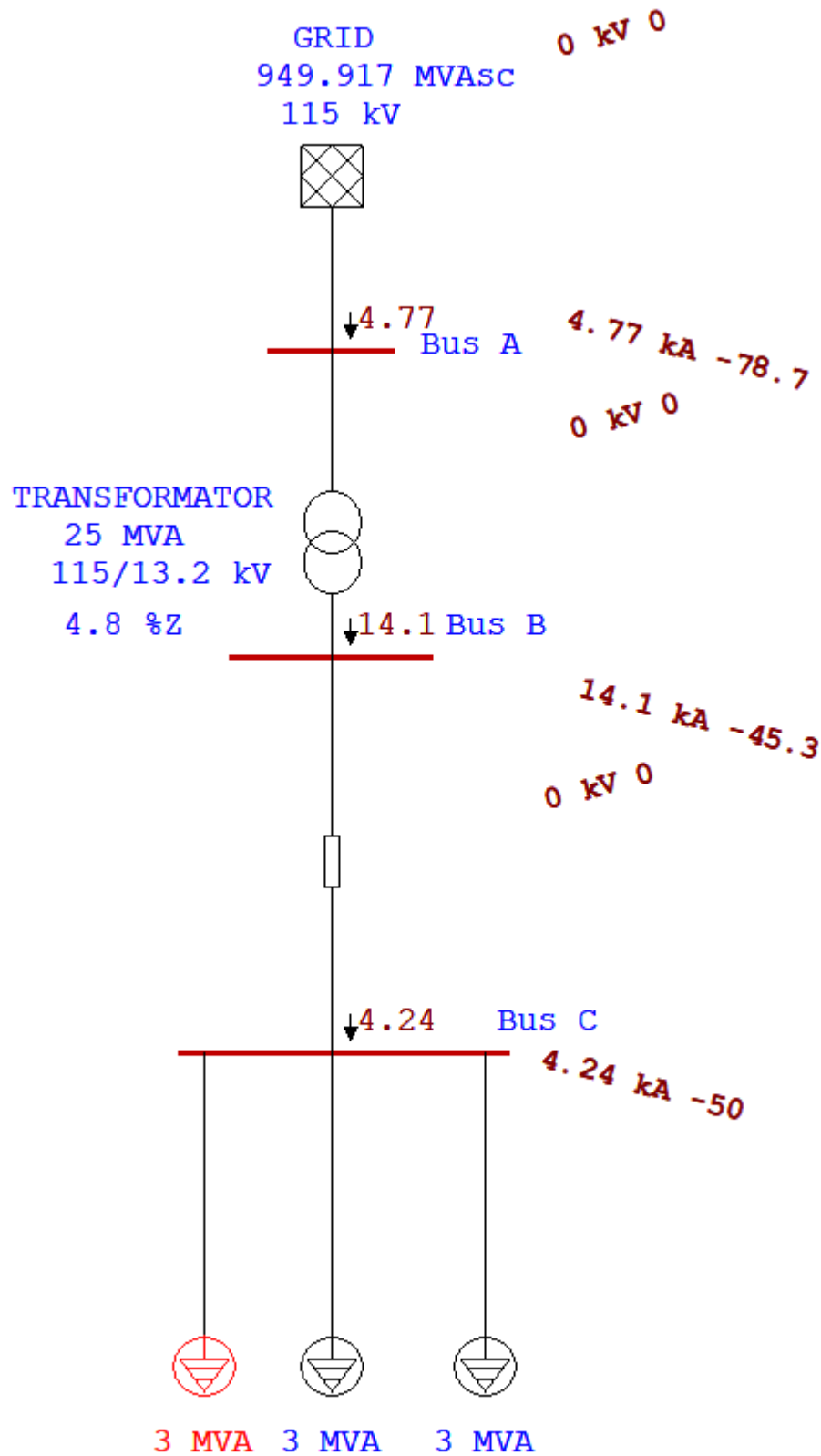
SINGLE LINE VALIDASI[45]



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- B.**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

SIMULASI VALIDASI



C. MENGHITUNG IMPEDANSI JARINGAN

1. Menghitung impedansi sumber

$$Z_{\text{sumber}} = \frac{(V)^2}{VA_{sc}}$$

$$Z_{\text{base}} = \frac{(115.000)^2}{950.000.000} = 13,9 \Omega$$

2. Menghitung impedansi transformator

$$Z_{\text{transformer}} = Z_{pu} \frac{(V)^2}{VA_{trf}}$$

$$Z_{\text{base}} = 0.048 \frac{(115.000)^2}{25.000.000} = 25,39 \Omega$$

3. impedansi konduktor (85,35 Ω)

D. Menghitung arus hubung singkat 3 fasa

1. Arus hubung singkat 3 fasa pada bus C

$$I_{3F} = \frac{c \times V_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{(1)Grid}}$$

$$I_{3F} = \left(\frac{115.000}{\sqrt{3}(13,9 + 25,39 + 85,35)} \right) \times \frac{115}{13,9}$$

$$I_{3F} = 4,4 \text{ kA}$$

2. Menghitung arus hubung singkat 3 fasa pada bus B

$$I_{3F} = \left(\frac{115.000}{\sqrt{3}(13,9 + 25,39)} \right) \times \frac{115}{13,9}$$

$$I_{3F} = 13,9 \text{ kA}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

3. Menghitung Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pada Bus A

$$I_{3F} = \left(\frac{115.000}{\sqrt{3}(13,9)} \right) \times \frac{115}{13,9}$$

$$I_{3F} = 4,7 \text{ kA}$$

4. Perbandingan hasil simulasi dengan hitung manual

BUS	ARUS HUBUNG SINGKAT	
	Hasil Simulasi	Hitung Manual
A	4,77 kA	4,7 kA
B	14,1 kA	13,9 kA
C	4,24 kA	4,4 kA

E. Report Hasil Simulasi Hubung Singkat Dalam Validasi

Project: ETAP
Location: 12.6.0H
Contract:
Engineer:
Filename: validasi

Page: 1
Date: 27-07-2020
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

Study Case: SC

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I ¹ k	ip	Ik	I ¹ k	ip	Ib	Ik	I ¹ k	ip	Ib	Ik	I ¹ k	ip	Ib	Ik
Bus A	115.000	4.769	10.507	4.769	0.235	0.518	0.235	0.235	4.130	9.099	4.130	4.130	4.131	9.100	4.131	4.131
Bus B	11.000	14.104	21.351	14.104	0.000	0.000	0.000	0.000	12.214	18.490	12.214	12.214	12.214	18.490	12.214	12.214
Bus C	13.200	4.237	6.585	4.237	0.000	0.000	0.000	0.000	3.669	5.702	3.669	3.669	3.669	5.702	3.669	3.669

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B

Simulasi Hubung Singkat Kondisi 1

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	30-07-2020
Contract:		SN:	
Engineer:		Revision:	Base
Filename:	RELAY EXISTING	Config:	Normal
Study Case:	SC		

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I _k	ip	I _k	I _k	ip	I _k	I _k	I _k	ip	I _k	I _k	I _k	ip	I _k	I _k
Bus2	20.000	11.478	30.615	11.478	0.132	0.352	0.132	0.132	9.940	26.513	9.940	9.940	9.941	26.517	9.941	9.941
Bus3	20.000	11.471	30.581	11.471	0.132	0.352	0.132	0.132	9.935	26.484	9.935	9.935	9.936	26.488	9.936	9.936
Bus4	20.000	11.469	30.568	11.469	0.132	0.352	0.132	0.132	9.932	26.473	9.932	9.932	9.934	26.476	9.934	9.934
Bus5	20.000	11.466	30.555	11.466	0.132	0.352	0.132	0.132	9.930	26.461	9.930	9.930	9.932	26.465	9.932	9.932
Bus6	20.000	11.465	30.548	11.465	0.132	0.351	0.132	0.132	9.929	26.455	9.929	9.929	9.931	26.459	9.931	9.931
Bus7	20.000	11.458	30.508	11.458	0.132	0.351	0.132	0.132	9.923	26.421	9.923	9.923	9.924	26.425	9.924	9.924
Bus8	20.000	11.460	30.521	11.460	0.132	0.351	0.132	0.132	9.925	26.432	9.925	9.925	9.926	26.436	9.926	9.926
Bus9	20.000	11.463	30.535	11.463	0.132	0.351	0.132	0.132	9.927	26.444	9.927	9.927	9.928	26.448	9.928	9.928
Bus10	20.000	11.455	30.495	11.455	0.132	0.351	0.132	0.132	9.921	26.409	9.921	9.921	9.922	26.413	9.922	9.922
Bus11	20.000	6.398	13.517	6.398	0.129	0.272	0.129	0.129	5.541	11.706	5.541	5.541	5.548	11.723	5.548	5.548
Bus12	20.000	5.120	10.331	5.120	0.127	0.257	0.127	0.127	4.434	8.947	4.434	4.434	4.443	8.965	4.443	4.443
Bus13	20.000	2.477	4.315	2.477	0.120	0.210	0.120	0.120	2.145	3.737	2.145	2.145	2.158	3.761	2.158	2.158
Bus14	20.000	4.394	8.654	4.394	0.126	0.248	0.126	0.126	3.806	7.494	3.806	3.806	3.815	7.513	3.815	3.815
Bus15	20.000	4.911	9.839	4.911	0.127	0.255	0.127	0.127	4.253	8.521	4.253	4.253	4.262	8.539	4.262	4.262
Bus16	20.000	6.402	13.530	6.402	0.129	0.273	0.129	0.129	5.544	11.717	5.544	5.544	5.552	11.733	5.552	5.552
Bus17	20.000	6.759	14.481	6.759	0.129	0.277	0.129	0.129	5.853	12.541	5.853	5.853	5.861	12.556	5.861	5.861
Bus18	20.000	3.250	5.352	3.250	0.127	0.210	0.127	0.127	2.814	4.635	2.814	2.814	2.831	4.663	2.831	2.831
Bus19	20.000	2.327	6.023	1.687	0.017	0.044	0.017	0.017	2.048	5.299	2.048	2.048	2.051	5.308	2.051	2.051
Bus39	20.000	4.395	8.655	4.395	0.126	0.248	0.126	0.126	3.806	7.495	3.806	3.806	3.816	7.514	3.816	3.816

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Simulasi Hubung Singkat Kondisi 2

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	30-07-2020
Contract:		SN:	
Engineer:		Revision:	Base
Filename: RELAY EXISTING	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I ^{1k}	ip	I _k	I ^{1k}	ip	I _b	I _k	I ^{1k}	ip	I _b	I _k	I ^{1k}	ip	I _b	I _k
Bus2	20.000	16.237	42.922	14.353	0.151	0.399	0.151	0.151	14.125	37.339	14.125	14.125	14.130	37.353	14.130	14.130
Bus3	20.000	16.224	43.034	16.224	0.151	0.400	0.151	0.151	14.114	37.437	14.114	14.114	14.119	37.451	14.119	14.119
Bus4	20.000	16.219	43.008	16.219	0.151	0.400	0.151	0.151	14.110	37.413	14.110	14.110	14.115	37.428	14.115	14.115
Bus5	20.000	16.214	42.981	16.214	0.151	0.400	0.151	0.151	14.105	37.390	14.105	14.105	14.111	37.405	14.111	14.111
Bus6	20.000	16.212	42.968	16.212	0.151	0.400	0.151	0.151	14.103	37.379	14.103	14.103	14.108	37.393	14.108	14.108
Bus7	20.000	16.197	42.889	16.197	0.151	0.399	0.151	0.151	14.090	37.310	14.090	14.090	14.095	37.324	14.095	14.095
Bus8	20.000	16.202	42.915	16.202	0.151	0.399	0.151	0.151	14.094	37.333	14.094	14.094	14.100	37.347	14.100	14.100
Bus9	20.000	16.207	42.942	16.207	0.151	0.400	0.151	0.151	14.099	37.356	14.099	14.099	14.104	37.370	14.104	14.104
Bus10	20.000	16.192	42.863	16.192	0.151	0.399	0.151	0.151	14.086	37.287	14.086	14.086	14.091	37.301	14.091	14.091
Bus11	20.000	7.610	15.471	7.610	0.147	0.299	0.147	0.147	6.600	13.418	6.600	6.600	6.604	13.425	6.604	6.604
Bus12	20.000	5.858	11.430	5.858	0.145	0.282	0.145	0.145	5.078	9.909	5.078	5.078	5.083	9.918	5.083	5.083
Bus13	20.000	2.626	4.494	2.626	0.136	0.232	0.136	0.136	2.275	3.893	2.275	2.275	2.285	3.911	2.285	2.285
Bus14	20.000	4.923	9.410	4.923	0.143	0.274	0.143	0.143	4.267	8.156	4.267	4.267	4.272	8.167	4.272	4.272
Bus15	20.000	5.584	10.830	5.584	0.144	0.280	0.144	0.144	4.841	9.388	4.841	4.841	4.846	9.398	4.846	4.846
Bus16	20.000	7.616	15.487	7.616	0.147	0.299	0.147	0.147	6.605	13.432	6.605	6.605	6.609	13.439	6.609	6.609
Bus17	20.000	8.132	16.750	8.132	0.147	0.303	0.147	0.147	7.054	14.529	7.054	7.054	7.056	14.535	7.056	7.056
Bus18	20.000	3.496	5.629	3.496	0.144	0.232	0.144	0.144	3.028	4.876	3.028	3.028	3.043	4.899	3.043	3.043
Bus19	20.000	16.165	42.717	16.165	0.151	0.399	0.151	0.151	14.062	37.161	14.062	14.062	14.068	37.175	14.068	14.068
Bus39	20.000	4.923	9.411	4.923	0.143	0.274	0.143	0.143	4.267	8.157	4.267	4.267	4.273	8.168	4.273	4.273

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

UIN SUSKA RIAU

Simulasi Hubung Singkat Setelah Pemasangan Reaktor

Project:
Location:
Contract:
Engineer:
Filename: RELAY EXISTING

ETAP
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 1
Date: 30-07-2020
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I'k	ip	Ik	I'k	ip	Ib	Ik	I'k	ip	Ib	Ik	I'k	ip	Ib	Ik
Bus3	20.000	10.815	29.000	10.739	0.150	0.403	0.150	0.150	9.394	25.189	9.394	9.394	9.400	25.205	9.400	9.400
Bus4	20.000	10.813	28.988	10.737	0.150	0.402	0.150	0.150	9.392	25.179	9.392	9.392	9.398	25.194	9.398	9.398
Bus5	20.000	10.811	28.976	10.735	0.150	0.402	0.150	0.150	9.390	25.168	9.390	9.390	9.396	25.184	9.396	9.396
Bus6	20.000	10.810	28.970	10.733	0.150	0.402	0.150	0.150	9.389	25.163	9.389	9.389	9.395	25.179	9.395	9.395
Bus7	20.000	10.803	28.934	10.727	0.150	0.402	0.150	0.150	9.384	25.132	9.384	9.384	9.389	25.148	9.389	9.389
Bus8	20.000	10.805	28.946	10.729	0.150	0.402	0.150	0.150	9.386	25.142	9.386	9.386	9.391	25.158	9.391	9.391
Bus9	20.000	10.808	28.958	10.731	0.150	0.402	0.150	0.150	9.387	25.153	9.387	9.387	9.393	25.168	9.393	9.393
Bus10	20.000	10.900	29.107	10.725	0.150	0.401	0.150	0.150	9.468	25.282	9.468	9.468	9.473	25.297	9.473	9.473
Bus11	20.000	6.358	13.527	6.171	0.146	0.311	0.146	0.146	5.513	11.730	5.513	5.513	5.514	11.733	5.514	5.514
Bus12	20.000	4.990	10.150	4.976	0.144	0.293	0.144	0.144	4.326	8.799	4.326	4.326	4.329	8.805	4.329	4.329
Bus13	20.000	2.448	4.284	2.445	0.135	0.236	0.135	0.135	2.121	3.711	2.121	2.121	2.130	3.727	2.130	2.130
Bus14	20.000	4.299	8.527	4.289	0.142	0.283	0.142	0.142	3.726	7.390	3.726	3.726	3.730	7.398	3.730	3.730
Bus15	20.000	4.792	9.675	4.778	0.144	0.290	0.144	0.144	4.154	8.386	4.154	4.154	4.157	8.393	4.157	4.157
Bus16	20.000	6.198	13.219	6.175	0.146	0.312	0.146	0.146	5.375	11.463	5.375	5.375	5.376	11.466	5.376	5.376
Bus17	20.000	6.531	14.125	6.506	0.147	0.317	0.147	0.147	5.664	12.250	5.664	5.664	5.665	12.252	5.665	5.665
Bus18	20.000	3.203	5.303	3.199	0.144	0.238	0.144	0.144	2.775	4.594	2.775	2.775	2.788	4.615	2.788	2.788
Bus19	20.000	16.337	43.044	16.165	0.151	0.397	0.151	0.151	14.212	37.444	14.212	14.212	14.217	37.458	14.217	14.217
Bus39	20.000	4.300	8.528	4.289	0.142	0.283	0.142	0.142	3.727	7.391	3.727	3.727	3.731	7.399	3.731	3.731

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

